

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ТРОХИМЕНКО ГАННА ГРИГОРІВНА

УДК 628.162:628.3:621.359.7:504.4.054

**КОМПЛЕКСНІ МАЛОВІДХОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ  
ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОЕКОСИСТЕМ  
(НА ПРИКЛАДІ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)**

**21.06.01 – екологічна безпека**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ - 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор  
**Гомеля Микола Дмитрович,**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Зберовський Олександр Владиславович,**  
Дніпровський державний технічний університет  
МОН України, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища

доктор технічних наук, професор  
**Волошкіна Олена Семенівна,**  
Київський національний університет будівництва і архітектури МОН України, завідувач кафедри охорони праці та навколишнього середовища

доктор технічних наук, професор,  
**Хоружий Петро Данилович,**  
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України, головний науковий співробітник

Захист відбудеться «25» вересня 2018 року о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.05 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», за адресою: пр. Перемоги, 37, корп. 19, ауд. 201/1, м. Київ, 03056.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: пр. Перемоги, 37, м. Київ, 03056.

Автореферат розісланий «22» серпня 2018 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.002.05  
к.т.н., доцент

О. І. Іваненко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На сьогодні при вирішенні будь-яких державних та економічних завдань, відповідно до їхньої екологічної складової, змінюються базові пріоритети у напрямку зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище. Все це є новою світовою ідеологією природокористування, яка підтримує концепцію сталого розвитку. Концепція спрямована якщо не на поліпшення, так на стабілізацію екологічного стану природних об'єктів, охорону, раціональне використання природних ресурсів, аналіз можливості їхнього відтворення. У галузі водоспоживання завдання концепції сталого розвитку вирішуються різними шляхами: через проведення грамотної екологічної політики, формування і впровадження сталого водного менеджменту, розробкою нових механізмів стабілізації використання водних ресурсів, структурної модернізації існуючих систем водокористування, використанням сучасних інноваційних методів фізико-хімічного очищення води, фітооздоровленням поверхневих вод.

Основна причина забруднення поверхневих вод – це скидання неочищених та недостатньо очищених господарсько-побутових і виробничих стоків, поверхневий стік із сільськогосподарських угідь, з урбанізованих територій, звалищ промислових та побутових відходів, шламосховищ.

Протягом останніх років у державі спостерігається стала тенденція до зниження якості води за вмістом органічних, поверхнево-активних речовин, іонів важких металів, нафтопродуктів, за рівнем мінералізації та іншими показниками. На сьогодні в Україні практично немає води, яка відповідає I-й категорії якості. Постійне погіршення якості природних водоймищ обумовлює закономірне підвищення вимог до ефективності очищення стічних та природних вод. З урахуванням зростання антропогенного навантаження на гідросферу, виникає необхідність розробки комплексного підходу до вивчення причин та джерел забруднення, закономірностей їхнього розподілу у компонентах гідроекосистем, зміни з часом, ступеня кумулятивного ефекту, а також усіх можливих напрямків оздоровлення як безпосередньо поверхневих водойм, так і шляхів зниження надходження забруднюючих речовин до них. У зв'язку з цим на перший план висувуються проблеми контролю якості води, моніторингу гідроекосистем, створення нових екологічно безпечних процесів та підходів до очищення води, організації ресурсоощадних систем водоспоживання. При цьому успішними можна вважати лише такі рішення та технології, які не призводять до утворення та скиду нових відходів, а забезпечують їх повну переробку.

**Зв'язок роботи з науковими програмами (планами, темами).** Дисертаційна робота виконувалась відповідно до наступних напрямів: Загальнодержавна «Програма розвитку водного господарства» до 2013 року, Загальнодержавна програма «Питна вода України на 2006 – 2020 роки», Регіональна програма «Розвиток водного господарства Миколаївської області на період 2013 – 2021 роки»; у рамках «Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки

Дніпра на період до 2021 року». Дослідження безпосередньо пов'язано з тематикою науково-дослідних робіт: держбюджетними темами «Захист поверхневих водойм від забруднення біогенними елементами та іонами важких металів» (номер держреєстрації 0116U0037766), «Розробка інноваційних методів очищення та аналізу вод» (номер держреєстрації 0110U007095), госпдоговірною темою № 1868 «Розробка схеми оптимізації роботи системи централізованого водопостачання і водовідведення міста Нова Одеса», де автор була одним з безпосередніх виконавців цих тем.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є вирішення екологічних проблем захисту природних гідроекосистем від забруднення шляхом моніторингу стану водойм, створення маловідходних технологій водопідготовки та очищення води для забезпечення раціонального використання водних ресурсів.

Для досягнення поставленої мети та успішного втілення вирішення комплексної наукової проблеми захисту природних водойм від техно- та антропогенного впливу були поставлені наступні завдання:

- оцінка стану гідроекологічних систем у межах водного басейну Миколаївської області та визначення основних закономірностей накопичення та міграції органічних і неорганічних політантів, їх вплив на стан природних гідроекосистем;

- визначення рівня забруднення водних об'єктів іонами важких металів та шляхів їхньої міграції у гідроекосистемах;

- розробка нових методів отримання ефективних реагентів, вивчення процесів освітлення, знебарвлення та стабілізаційної обробки води для забезпечення якісною водою населення та промислових підприємств, створення ресурсозберігаючих систем водокористування;

- визначення параметрів процесів іонообмінного очищення води від іонів важких та кольорових металів, процесів електроекстракції металів із кислих регенераційних розчинів при створенні безвідходних технологій очищення води від важких металів;

- інтенсифікація біологічних методів очищення комунально-побутових та промислових стічних вод від розчинних і нерозчинних органічних та неорганічних політантів;

- визначення ефективності застосування іонообмінних процесів очищення природних та доочищення стічних вод від біогенних елементів при створенні маловідходних технологій виділення сполук азоту та фосфору з води;

- розробка принципів технологічних схем кондиціонування та очищення води для забезпечення раціонального використання водних ресурсів та захисту від забруднення водних екосистем.

**Об'єкт дослідження** – природні гідроекосистеми, системи водоспоживання та водокористування, сучасні технології очищення природних та стічних вод.

**Предмет дослідження** – фактори техногенного та антропогенного впливу на природні водні екосистеми, процеси розвитку гідроекосистем з урахуванням

антропогенних впливів, процеси очищення води та переробки відходів при організації ресурсощадних систем водоспоживання.

**Методи досліджень.** При виконанні досліджень з моніторингу природних водойм та вивченні процесів очищення води для контролю якості води використовували атомно-абсорбційний спектральний аналіз, хроматографічний, спектрофотометричний, хімічні та фізико-хімічні методи аналізу. Були використані реагентні, іонообмінні, баромембранні, електрохімічні, механічні та біологічні методи очищення води та переробки відходів. Для оцінки достовірності результатів були використані математичні методи обробки даних, математичного моделювання та статистичного аналізу.

**Наукова новизна отриманих результатів.** При проведенні комплексних досліджень з вирішення наукової проблеми захисту гідроекосистем від забруднення та раціонального використання водних ресурсів вперше було:

- створено нові методи отримання реагентів для очищення та стабілізаційної обробки води з природних матеріалів, відходів виробництв, доступної сировини шляхом фізичного моделювання процесів кондиціонування, стабілізаційної обробки води, визначено основні залежності між характеристиками вихідної води, вимогами до якості очищеної води та параметрами її обробки у процесах освітлення, знебарвлення, пом'якшення, демінералізації та знезараження води;

- у межах вирішення складної науково-технічної проблеми – створення безвідходних технологій вилучення важких металів із води встановлено параметри процесів ефективної електроекстракції металів із відпрацьованих елюатів іонообмінного очищення води, визначено вплив конструкції електролізера, кислотності та хімічного складу розчинів на ефективність вилучення металів, енергозатрати процесу, встановлено взаємний вплив різних металів на ефективність їх відновлення, визначено умови розділення металів у процесах електролізу;

- визначено залежність характеристик гідроекосистем Миколаївської області від природних та антропогенних факторів і проведено порівняльний аналіз даних служб моніторингу водних об'єктів та даних, отриманих безпосередніми вимірами характеристик водних об'єктів, встановлено характер розподілу важких металів у компонентах Бузького лиману та р. Інгулець, проведено оцінку впливу евтрофікаційних процесів на стан природних водойм;

- встановлено закономірності впливу ефективних мікроорганізмів (ЕМ-препаратів) на ступінь біологічного очищення промислових та комунально-побутових стічних вод; визначено умови інтенсифікації доочищення стічних вод при застосуванні даних препаратів, при яких досягнуто зниження ХСК та БСК, концентрації сполук біогенних елементів – азоту та фосфору, заліза, органічних речовин, жирів, нафтопродуктів та завислих речовин в очищеній воді у порівнянні з традиційними біологічними методами; визначено умови іонообмінного очищення і доочищення води від сполук азоту та фосфору у маловідходних технологіях кондиціонування та очищення води;

– вдосконалено методи синтезу сульфонатних інгібіторів накипоутворення за рахунок зміни параметрів процесу, що забезпечило кількісний вихід продукту без підвищення матеріальних та енергозатрат;

– отримали подальший розвиток методи іонообмінної стабілізаційної обробки води, очищення води від іонів важких металів та сполук азоту і фосфору, у яких було визначено умови перебігу процесів, що забезпечують повну переробку відходів – відпрацьованих регенераційних розчинів у корисні продукти – будівельні матеріали, реагенти, рідкі добрива з вилученням цінних важких та кольорових металів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Створено технології отримання вискоєфективних коагулянтів із крупнотоннажних відходів – шламів виробництва алюмінію, технологію отримання коагулянту із бактерицидними властивостями з насіння *Moringa oleifera*, технологію синтезу вискоєфективних інгібіторів осадковідкладень на основі доступної сировини.

Проведено детальний моніторинг стану гідроекосистем Миколаївської області та визначено вклад природних та антропогенних факторів на стан екосистем, визначено умови міграції токсичних речовин у середовищах водного басейну області, екологічні загрози від техногенних впливів.

Розроблені вискоєфективні технології підготовки питної та технічної води при використанні джерел із підвищеною жорсткістю та мінералізацією води, створено матеріали та технології стабілізаційної обробки води для раціонального її використання у водоциркуляційних системах промислових підприємств, енергетиці та комунальних господарствах.

Вискоєфективні маловідходні технології очищення води від іонів важких металів, біологічні та фізико-хімічні процеси доочищення промислових та комунально-побутових стоків, природних вод від сполук біогенних елементів дозволяють значно знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище завдяки підвищенню якості очищеної води та різкому зменшенню кількості утворюваних шламів та отриманню корисних продуктів, придатних для повторного використання.

Модифіковану біохімічну технологію очищення сильнозабруднених промислових стоків впроваджено на підприємстві ПП ПК «Золотий теленок». Технологію підготовки та стабілізаційної обробки води впроваджено на підприємстві «ТОВ «Юкрейніан Шугар компанії».

**Особистий внесок здобувача.** Автором дисертації визначено мету і задачі досліджень, здійснено пошук їх рішень, проведене теоретичне обґрунтування напрямків досліджень та виконано безпосередні дослідження як при проведенні моніторингу водних об'єктів, так і при розробці технологій кондиціонування та очищення води. Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, представлених у дисертаційній роботі, наведено у наукових працях, поданих у списку публікацій в авторефераті [1-55].

Зокрема, автором дисертації було зроблено особисто:

- проведений аналіз водних об'єктів Миколаївської області згідно даних Регіонального управління водних ресурсів області та результатів власного моніторингу, визначено об'єкти, що найбільше впливають на стан гідроекосистеми [7 - 11, 14, 23 - 27, 33, 38, 43, 44];

- розроблено способи отримання коагулянтів, у тому числі із промислових відходів та природних матеріалів, інгібітори солевідкладень, проведено їх випробування [4, 20, 22, 36, 49, 50, 53];

- проведений аналіз рівня забруднення гідроекосистем Миколаївської області важкими металами, визначені джерела антропогенного впливу на водні об'єкти, механізми міграції токсичних речовин у водоймах [13, 29, 31, 37, 46];

- вивчено процеси кондиціювання води для водозабезпечення населення та промислових підприємств [2, 52];

- розроблено ефективні методи очищення води від важких металів та створено маловідходні технології їх вилучення з води [5, 6, 15, 17 - 19, 21, 32, 34, 35, 39, 41, 48, 51];

- визначено умови застосування ЕМ-технологій для інтенсифікації біологічних процесів очищення промислових та комунально-побутових вод [12, 16, 28, 30, 45, 47, 54, 55];

- створено ефективні безвідходні технології очищення води від сполук біогенних елементів [1, 3, 40, 42].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення, наукові результати теоретичних та експериментальних досліджень за напрямком дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях та семінарах різних рівнів, а саме: Міжнародному екологічному форумі «Довкілля 2010» (Київ, 2010); V – XII Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні» (м. Миколаїв, 2005 – 2017); II, VI, VII, VIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (м. Миколаїв, 2011, 2015, 2016, 2017 рр.); Міжнародному екологічному форумі «Довкілля 2010» (Київ, 2010); Карпатській конференції з проблем охорони довкілля» «CARPATIAN ENVIRONMENTAL CONFERENCE» (Мукачеве, 2011); Міжнародному екологічному форумі «Довкілля для України» (Київ, 2012); 12-й Международной междисциплинарной научно-практической школе-конференции «Современные проблемы науки и образования» (Донецк, 2012); Всеукраїнській міждисциплінарній конференції «Людина, природа, техніка у XXI столітті» (Полтава, 2012); XVI Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (Київ, 2013); XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (Кременчук, 2015); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы водоснабжения и водоотведения. Вода–2015» (Одесса, 2015); V Науково-практичній конференції «Біологічні дослідження – 2015» (Житомир, 2015); Міжнародній науковій конференції «Сучасний стан та якість навколишнього середовища окремих регіонів» (Одеса, 2016); Горбуновських читаннях «Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем» (Чернівці,

2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Екогеофорум - 2017. Актуальні проблеми та інновації» (Івано-Франківськ, 2017); III - V Міжнародних науково-практичних конференціях «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (Київ, 2015, 2016, 2017).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 55 наукових праць, у тому числі 21 стаття у наукових фахових виданнях України, з них 9 статей включені до міжнародних наукометричних баз, серед яких 6 статей індексуються у Scopus, 1 патент України на корисну модель, 13 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій та 20 статей у інших наукових виданнях України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Матеріали дисертації викладено на 467 сторінках друкованого тексту, зокрема основний текст – на 360 сторінках, серед яких площа 42 сторінок повністю зайнята таблицями та рисунками. Фактичний матеріал систематизовано у 64 таблицях та ілюстровано 144 рисунками. Список використаних джерел містить 540 найменувань. Дисертаційна робота включає 5 додатків, розміщених на 42 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, задачі дослідження, наукову новизну, практичну цінність одержаних результатів, оцінено особистий внесок здобувача у виконану роботу.

**Перший розділ** присвячено аналізу наукової інформації за напрямком водопідготовки та очищення стічних вод. Показано, що у даний час для здійснення цих процесів використовуються різні способи зниження концентрації забруднюючих речовин як безпосередньо, так і з варіативними комбінаціями послідовності, серед яких найбільш вживаними та перспективними є застосування флокулянтів та коагулянтів, реагентне очищення, електрохімічні, фізичні та біологічні методи очищення. З коагулянтів найчастіше використовуються алюміній- та залізомісткі сполуки, з флокулянтів – синтетичні. Однак, вони мають певний ряд недоліків, які обумовлюють необхідність пошуку нових екологічно безпечних високоефективних реагентів з мінімумом енерговитрат. Особливо актуальним є використання для їхнього отримання відходів промислового виробництва.

Простим та надійним методом очищення води від біогенних елементів є іонний обмін. Проте, недостатньо вивченими залишаються процеси регенерації іонітів та утилізації отриманих при цьому елюатів. Альтернативою іонному обміну та реагентній обробці води є застосування електрохімічних методів, що дозволяють отримувати цінні продукти за допомогою відносно простих технологічних схем очищення без застосування дорогих та дефіцитних хімічних реагентів. Для зниження концентрацій органічних забрудників та для доочищення стічних вод ефективним є використання біотехнологічних методів,



які також мають певні обмеження за фізико-хімічними умовами їхнього застосування.

Отже, вибір схеми водопідготовки та водочищення цілком залежатиме від типу, концентрації, взаємодії забруднюючих речовин та умов застосування того чи іншого методу для кожного конкретного підприємства з метою захисту поверхневих вод і доведення ступеня очищення до нормативних значень.

**У другому розділі** описані об'єкти дослідження, методи дослідження, методики проведення експериментів та математичні методи обробки результатів. У розділі наведено дані щодо водних об'єктів, аналіз стану яких проводиться у роботі, перелік промислових та комунальних об'єктів, що впливають на гідроекосистеми, методи контролю стану водойм. Представлені способи отримання реагентів для очищення та кондиціонування води, методи реагентного та іонообмінного очищення та стабілізаційної обробки води, очищення її від іонів важких металів та сполук біогенних елементів, технології інтексифікації біологічного очищення комунально-побутових та промислових стічних вод, методи переробки відходів іонообмінного очищення води. Наведені методики математичної обробки отриманих результатів.

**Третій розділ** присвячено моніторингу стану гідроекосистем Миколаївської області.

На основі моніторингових досліджень, аналізуючи показники гідрологічних вимірювань з 2004 по 2016 роки, показана динаміка перевищень нормативних показників. Кількість гідрохімічних показників, які не відповідають встановленим нормам, істотно збільшується з наближенням до м. Миколаєва. Якщо порівняти якість води річки Південний Буг у динаміці руху від верхнього створу на території Миколаївської області до м. Миколаєва, спостерігається постійний та поступовий зріст мінералізації у Бузькій воді за рухом до півдня. Це є наслідком високої мінералізації природних вод (приток річки та підземних вод), також підвищується вміст хлоридів, концентрації магнію, сухого залишку, загальної жорсткості. Стабільним за всіма створами є перевищення норм для водойм госпитного водокористування показника ХСК. Підвищена мінералізація формується у Ташлицькому водосховищі (водойма-охолоджувач ЮУ АЕС) внаслідок концентрування розчинених мінеральних і органічних речовин завдяки фізико-хімічним процесам випаровування води.

На території Миколаївської області р. Інгул є забрудненою мінеральними солями, найбільші перевищення ГДК зафіксовані у створі, який знаходиться у м. Миколаєві, старий пішохідний міст, що говорить про явний антропогенний вплив на р. Інгул. Перевищення ГДК спостерігається за такими показниками: БСК<sub>п</sub> максимально у 2,8 разів; ХСК – у 3,36; жорсткість загальна – у 4,2; сульфати – у 1,25; магній – у 6,8; сухий залишок – у 7,1; натрій – у 10,2; калій – у 1,8; натрій – у 10,2; калій – у 1,8.

За середньобагаторічними показниками сухого залишку можна говорити, що хімічний склад води основних приток характеризується середніми і підвищеними величинами мінералізації в річках Синюха та Кодима. Високі та дуже високі середньобагаторічні значення мінералізації спостерігаються у

р. Інгул та р. Мертвовод. Вміст біогенних речовин у воді приток р. Південний Буг також варіював у широких межах. Вміст фосфатів у воді приток р. Південний Буг стабільно перевищував ГДК. Динаміка вмісту органічних речовин у річковій воді загалом визначається надходженням їх із сільськогосподарськими стічними водами.

Води Бузького лиману забруднені органічними сполуками, середньорічні показники яких складають: ХСК –  $30,38 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ , БСК<sub>п</sub> –  $8,44 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ . Також перевищення ГДК мало місце за наступними показниками: жорсткість, сухий залишок, сульфати, хлориди, магній, натрій, калій.

Таким чином, хоча за останні роки рівень промислового виробництва і сільського господарства Миколаївщини не зріс, забруднення основних приток р. Південний Буг у межах Миколаївської області залишається досить високим та навіть зростає. А показник ХСК, який є одним з основних показників, що показують рівень антропогенного забруднення природних вод органічними речовинами, залишається стабільно високим за всіма точками моніторингу.

Особливо показним є аналіз забруднення поверхневих вод у районі розташування морського порту за 14 точками моніторингу (у районі причалів зливостоків та фонових біля буїв). У всіх точках контролю спостерігається підвищені значення БСК<sub>п</sub>. У літній період кількість нітратів та фосфатів перевищує ГДК для водойм рибогосподарського водокористування за деякими точками контролю у 10-ки разів. Аналізуючи зміну концентрацій забруднюючих речовин у точках контролю, можна судити про вплив декількох факторів на водний об'єкт, а саме: скид дощових та талих стічних вод, виробничої діяльності Миколаївського морського порту, портових операторів та санітарного стану його територій. Підвищення майже всіх показників у весняно-літній період корелює з активізацією діяльності порту.

Екологічною лабораторією Національного університету кораблебудування проведена серія альтернативних досліджень якості поверхневих вод за основними показниками, деякі з них представлені на рисунку 1.

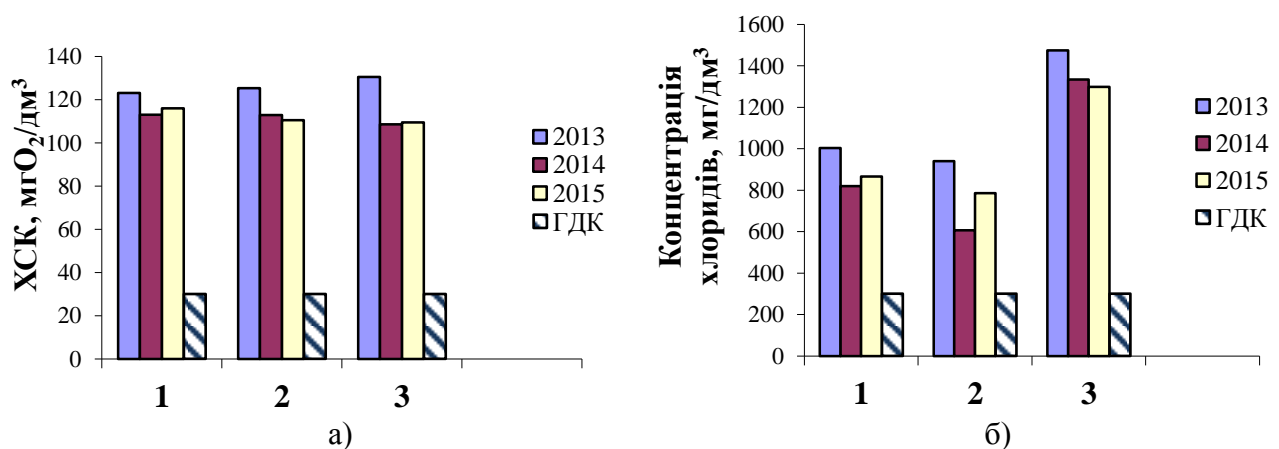


Рисунок 1 – Рівень хімічного споживання кисню (а) та хлоридів (б) у поверхневих водоймах м. Миколаєва за даними власного моніторингу (середнє за рік): 1 – р. Інгул (р-н пішохідного мосту), 2 – р. Південний Буг (р-н Варварівського мосту), 3 – Бузький лиман (р-н Миколаївського морського торговельного порту)

Перевищення ГДК за вмістом заліза загального, хлоридів, ХСК у р. Інгул, р. Південний Буг та Бузькому лимані свідчать про суттєве забруднення поверхневих вод у місті Миколаєві як недостатньо очищеними стічними, так і дощовими водами.

**У четвертому розділі** описано методики синтезу коагулянтів на основі червоного шламу Миколаївського глиноземного заводу, отримання коагулянту екстракцією з насіння *Moringa oleifera* та нового методу отримання сульфонатного стабілізатора накипоутворення метилendisульфонату натрію (МДСН) при використанні сульфіту натрію, параформу та сірчистого газу. При обробці шламу розчином сірчаної кислоти при підвищених температурах отриманий залізо-алюмінієвий коагулянт (КШ–1), який в основному містив сульфати заліза та алюмінію. При нейтралізації шламу соляною кислотою отримали реагент, який в основному містив суміш хлориду та гідрохлоридів алюмінію (КШ–2). Отримані коагулянти, наряду з відомими реагентами – сульфатом алюмінію та коагулянтом Полвак, були використані для освітлення та знебарвлення модельних суспензій бентоніту, коаліну та розчинів гумату натрію в артезіанській воді та водопровідній воді. Кращі результати було отримано при використанні коагулянту КШ–2, який забезпечував ефективне очищення води як при відстоюванні, так і при фільтруванні. Високі результати були отримані при підготовці дніпровської води, яка відзначається високим рівнем кольоровості (таблиця 1).

Коагулянт КШ–2 забезпечував не лише ефективне освітлення води, але і зниження кольоровості нижче допустимого рівня – 20 °ПКШ при дозах  $\geq 10$  мг/дм<sup>3</sup> за оксидами заліза та алюмінію, переважаючи за даним показником інші коагулянти. Залишкові концентрації іонів алюмінію та заліза не перевищували допустимі рівні.

Високу ефективність з освітлення води р. Інгул забезпечував коагулянт на основі спиртового екстракту насіння *Moringa oleifera*. При цьому дози коагулянту були у межах 0,1 мг/дм<sup>3</sup> за сухим залишком (рисунок 2). Крім високої ефективності коагулянту за знебарвленням та освітленням води, він переважав інші реагенти за рівнем бактерицидності та забезпечував ефективне знезараження води з р. Інгул, яка характеризується високим рівнем бактеріального забруднення.

Як видно з результатів моніторингу водних об'єктів Миколаївської області, ряд водойм характеризуються високими рівнями жорсткості та мінералізації води. Тому нами було визначено ефективність відомих методів пом'якшення води з р. Інгул та інших водойм, запропоновано їх модернізацію при використанні магнезиту та кислих і основних алюмінієвих коагулянтів у різних співвідношеннях при вапнуванні води. При цьому, було досягнуто зниження жорсткості води до 1,1–1,2 мг-екв/дм<sup>3</sup> при зменшенні концентрації сульфатів з 568 до 68 – 125 мг/дм<sup>3</sup>.

Даний метод дає можливість отримувати якісну питну воду і воду для промислових водоциркуляційних систем охолодження та теплопостачання. Підживлення даних систем пом'якшеною водою дозволить перейти від

відкритих до замкнутих систем, забезпечить значну економію природної води та зниження антропогенного тиску на водойми за рахунок різкого скорочення об'ємів стічних вод.

Таблиця 1– Залежність ефективності освітлення дніпровської води ( $J=4,30$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $L=4,25$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C_{Cl^-}=37$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C_{SO_4^{2-}}=43$  мг/дм<sup>3</sup>,  $M=47$  мг/дм<sup>3</sup>,  $K=134^{\circ}\text{ХКШ}$ ,  $pH=7,83$ ) від типу та дози коагулянту при відстоюванні 2 години (I) та після відстоювання і фільтрування (II)

Коагулянт	Доза коагулянту (по $Me_2O_3$ ), мг/дм <sup>3</sup>	Каламутність, М, мг/дм <sup>3</sup>		Кольоровість, К, $^{\circ}\text{ХКШ}$		$C_{Al}(\text{Fe})$ , мг/дм <sup>3</sup>	pH	Ступінь освітлення, Z, %		Ступінь знебарвлення, А, %	
		I	II	I	II			I	II	I	II
	0	47,0	6,0	134,0	62,0	–	7,57	–	87,2	–	53,7
$Al_2(SO_4)_3$	7,5	30,0	0,0	90,0	33,0	0,17	7,23	36,2	100,0	32,8	75,4
	10,0	24,0	0,0	56,0	29,0	0,14	7,18	48,9	100,0	58,2	78,4
	15,0	14,0	0,0	54,0	27,0	0,19	7,01	70,2	100,0	59,7	79,9
	20,0	12,0	0,0	50,0	25,0	0,20	6,97	74,4	100,0	62,7	81,3
КШ–1	7,5	38,5	0,0	145,0	46,0	0,03 (0,15)	7,19	17,0	100,0	–	65,7
	10,0	37,0	0,0	132,0	40,5	0,02 (0,12)	6,96	21,3	100,0	1,5	69,4
	15,0	34,5	0,0	125,0	35,5	0,03 (0,17)	6,87	26,6	100,0	6,7	73,1
	20,0	32,0	0,0	112,0	33,5	0,04 (0,10)	6,54	31,9	100,0	16,4	74,6
КШ–2	7,5	11,5	0,0	48,0	24,5	0,12 (0,15)	7,13	74,5	100,0	64,2	81,7
	10,0	10,7	0,0	44,5	19,5	0,17 (0,14)	6,88	76,6	100,0	66,4	85,4
	15,0	7,5	0,0	37,0	17,3	0,20 (0,17)	6,65	84,0	100,0	72,4	87,3
	20,0	6,0	0,0	36,5	15,6	0,22 (0,25)	6,24	87,2	100,0	73,1	88,4

За результатами, отриманими при пом'якшенні та знесоленні води вапном та коагулянтами 2/3 ГОХА та  $NaAl(OH)_4$ , визначено регресійні залежності (рисунок 3).

Побудова математичної моделі процесів пом'якшення та знесолення води базувалася на використанні ПФП 2<sup>3</sup>. Як показали проведені дослідження, основними факторами, котрі суттєво впливають на ефективність процесу, є доза вапна та концентрація 2/3 ГОХА. Основні фактори та діапазони їх зміни приведені на рисунку 3.

Як видно з рисунку, при заданій витраті гідроксоалюмінату натрію та вибраному діапазоні доз вапна ефективність пом'якшення в значній мірі

залежить від дози гідроксохлориду алюмінію. За оптимальних умов досягнуто ступінь пом'якшення води на рівні 91 % ступеня очищення від сульфатів на рівні 88 %.

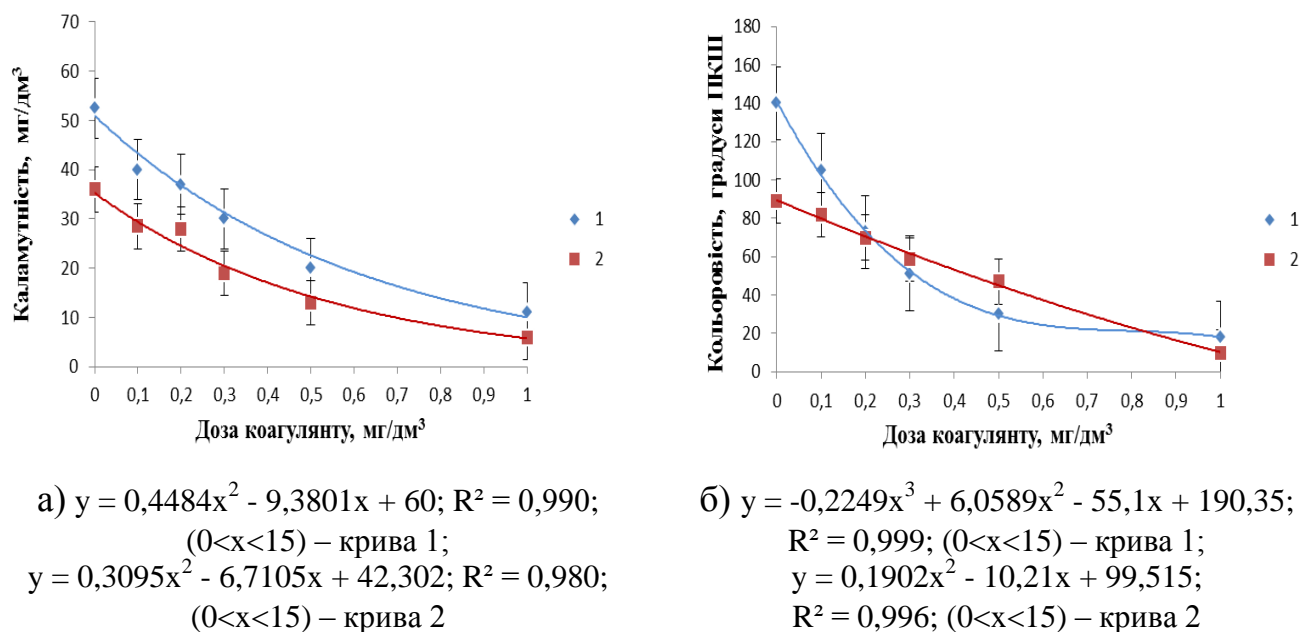


Рисунок 2 – Залежність зміни каламутності (а) та кольоровості (б) води від дози коагулянтів з насіння *Moringa oleifera* до фільтрування (1) та після фільтрування (2).

Високої ефективності пом'якшення та знесолення води було досягнуто при використанні наряду з вапном алюмінату натрію та магnezиту. Застосування магnezиту дозволяє суттєво знизити лужність води та концентрацію іонів кальцію.

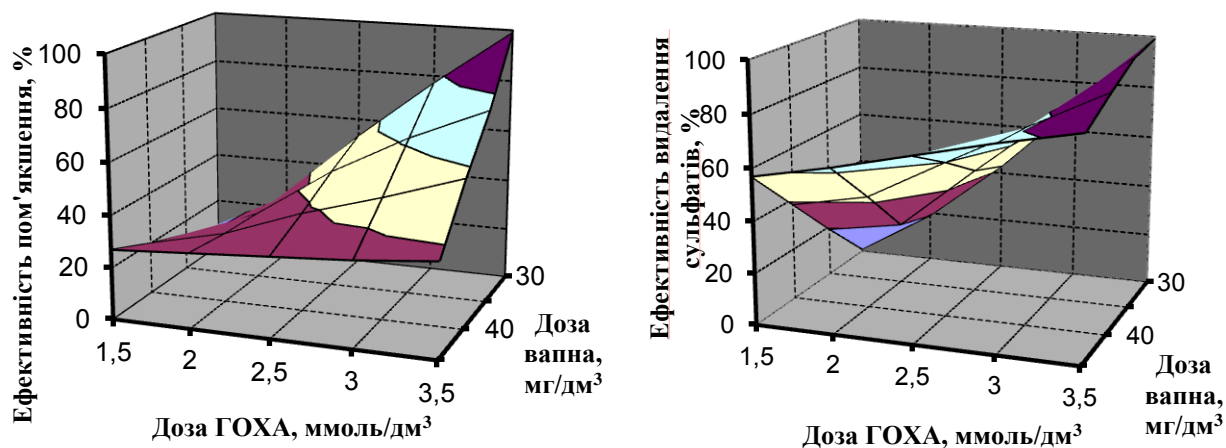


Рисунок 3 – Графічне зображення рішень рівняння регресії процесу пом'якшення води (а) та видалення сульфатів (б)

У розділі було визначено ефективність пом'якшення води з використанням катіонітів у залежності від рівня мінералізації води та типу катіонітів.

Було встановлено, що застосування слабокислотних катіонітів забезпечує ефективне пом'якшення води при рівні мінералізації до 100 г/дм<sup>3</sup>, а при застосуванні суміші сильно- та слабокислотних катіонітів, відповідно у сольовій та кислій формі, забезпечується не лише ефективне пом'якшення води, але і зменшення лужності води, включаючи і карбонатну (рисунок 4).

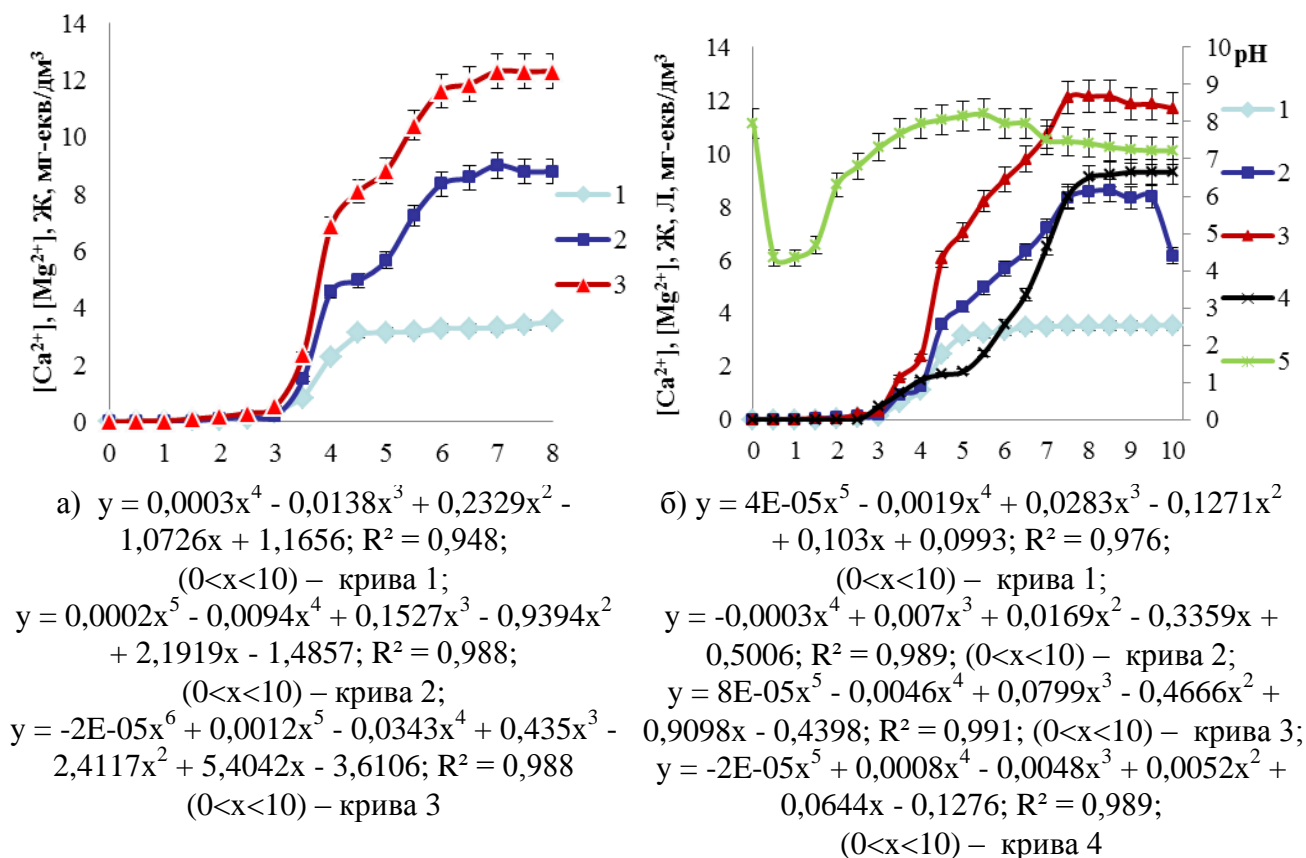


Рисунок 4 – Залежність ефективності сорбції іонів жорсткості від пропущеного об'єму модельного розчину через катіоніт КУ-2-8 у Na<sup>+</sup>-формі (а), суміш катіонітів КУ-2-8 у Na<sup>+</sup>-формі та DOWEX MAC-3 у H<sup>+</sup>-формі (б):

1 – [Ca<sup>2+</sup>]; 2 – [Mg<sup>2+</sup>]; 3 – жорсткість; 4 – лужність; 5 – pH

При проведенні процесів регенерації показано доцільність використання сольових концентратів зворотнього осмосу для переведення сильнокислотного катіоніту в сольову форму, а при послідовному використанні розчинів соляної кислоти для регенерації сильно та слабокислотних катіонітів забезпечується можливість ефективної регенерації катіонітів при зниженні надлишку кислоти до 10–15 % при досягненні високих концентрацій солей жорсткості у регенераційних розчинах. На прикладі аніоніту АВ–17–8 показано, що застосування високоосновних аніонітів у основній формі забезпечує не лише ефективне очищення води від хлоридів та сульфатів, але й надійне пом'якшення води. Дані аніоніти мають високу селективність за сульфатами, тому їх доцільно використовувати при розділенні сульфатів і хлоридів.

При проведенні досліджень було розроблено новий безвідходний метод синтезу сульфонатного інгібітору солевідкладень – метилendisульфонату натрію (МДСН). Даний інгібітор значно дешевший та доступніший за реагенти на основі фосфонових кислот та не поступається їм за ефективністю (рисунок 5).

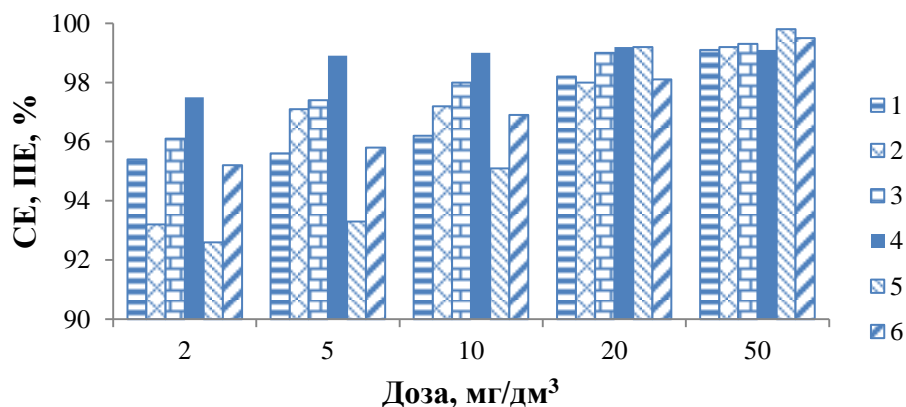


Рисунок 5 – Залежність стабілізаційного (СЕ) (1; 3; 5) і протинакипного (ПЕ) (2; 4; 6) ефектів від концентрації інгібіторів оксиетилендифосфонової кислоти (ОЕДФК) (1; 2), диметиленсульфофосфінат натрію (ДМСФН) (3; 4), метилendisульфонат натрію (МДСН) (5; 6) в артезіанській воді при 40 °С ( $K_y = 1,6$ )

На основі отриманих результатів розроблені принципові технологічні схеми підготовки води із джерел з підвищеною мінералізацією, одну з яких наведено на рисунку 6.

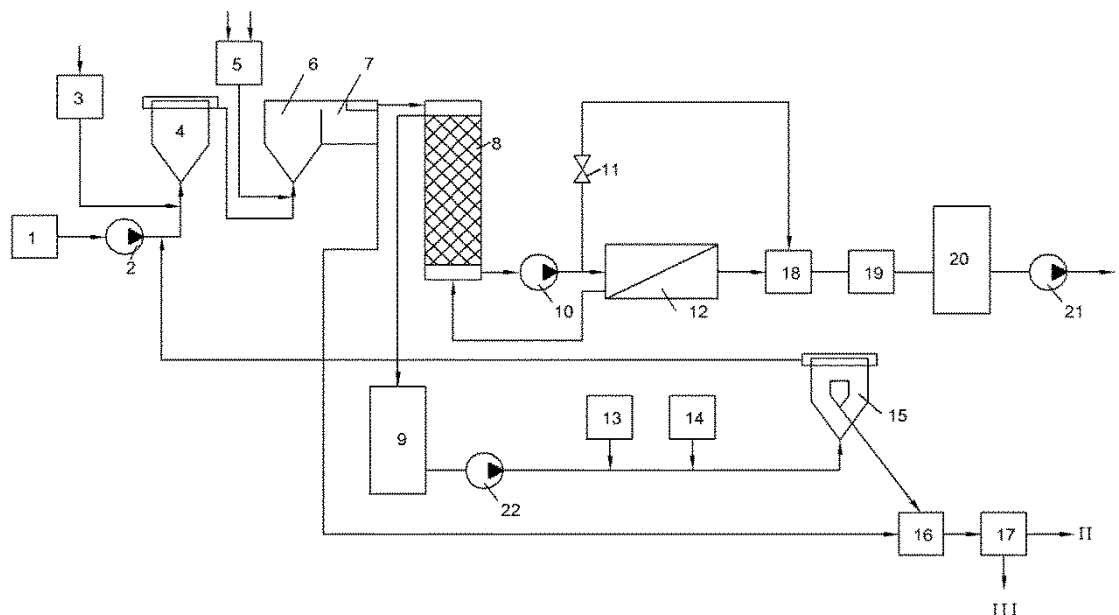


Рисунок 6 – Принципова технологічна схема підготовки питної води з джерел водопостачання з підвищеною мінералізацією: 1 – водозабірні споруди; 2, 10, 21, 22 – насоси; 3 – витратний бак коагулянту; 4 – змішувач; 5 – витратний бак флокулянту; 6 – камера пластівцеутворення; 7 – відстійник; 8 – механічні фільтри; 9 – резервуар; 11 – вентиль; 12 – нанофільтраційна установка; 13 – витратний бак вапна; 14 – витратний бак коагулянту; 15 – просвітлювач із завислим шаром осаду; 16 – шламосховище; 17 – фільтр-прес; 18 – мінералізатор; 19 – камера знезараження води; 20 – резервуар чистої води; I – подача води до споживача; II – осад на переробку; III – фільтрат у каналізацію

У даному випадку освітлена вода знесолюється на нанофільтраційній установці 12, а концентрат пом'якшується та знесолюється реагентним методом у просвітлювачі 15. Пом'якшений концентрат подається в голову очисних споруд, а осади після зневоднення подаються на виробництво будівельних матеріалів.

**П'ятий розділ** присвячено визначенню рівня забруднення різних складових екосистем іонами важких металів та розробці заходів і технологій із захисту водойм від забруднення важкими металами.

Для цього на попередньому етапі проведений моніторинг рівня забруднення гідроекосистем Бузького лиману та р. Інгулець.

При проведенні досліджень визначали концентрації іонів важких металів у воді, водоростях, донних відкладеннях і гідробіонтах. Визначення вмісту металів проводили з використанням атомно-абсорбційної спектрометрії.

Дані розподілу металів у Бузькому лимані показують відмінності механізмів міграції металів у водній товщі і придонних відкладеннях. У першій групі переважають процеси самоочищення за рахунок седиментаційних процесів, а в другій групі – найбільш вірогідний перехід важких металів з донних відкладень у придонний шар. Цей перехід може здійснюватися як за рахунок взмучування донних відкладень, так і за рахунок процесів розчинення та десорбції раніше накопичених у донних відкладеннях металів.

Важливу роль у формуванні складу донних відкладень Бузького лиману відіграють р. Південний Буг та його ліва притока р. Інгул. Динамічність складу донних відкладень лиману пов'язана з кліматичними умовами, з вмістом речовин у товщі води, з промисловими стоками підприємств, з характеристиками поверхневих та підземних джерел, які впливають на гідрохімічний склад Бузького лиману. У даний час донні відкладення Бузького лиману відіграють роль акумулятора продуктів техногенної діяльності. Якщо зіставити концентрації важких металів у воді та донних відкладеннях, то добре видно, що хімічну активність металів у воді визначають їх концентрації у донних відкладеннях, хоча пряма залежність відсутня. Це пов'язано з розчинністю гідроксидів металів та міграцією їх у воду через гідробіонти.

Зарості вищої водної рослинності, їх екологічні, систематичні характеристики дозволяють візуально проводити експрес-аналіз стану водної екосистеми Бузького лиману. Домінуючими у водній екосистемі Бузького лиману є види зелених водоростей, а особливо кладофора та ульва. Результати дослідження показали високу кореляцію між вмістом важких металів у донних відкладеннях та ступенем їхньої акумуляції у водоростях (рисунок 7).

Також проведені дослідження закономірностей накопичення та розподілу важких металів у організмі гідробіонтів на прикладі карася сріблястого та бичка-піскови́ка, характерних для гідроекосистеми Бузького лиману. Подальше вивчення цієї проблеми необхідно не тільки для збереження екосистеми водосховища, але і для здоров'я населення.

Отже, отримані дані дозволяють охарактеризувати екологічний стан Бузького лиману як критичний. Проте, аномально високий вміст деяких металів



у донних відкладеннях не спричиняє прямого впливу на стан поверхневих вод лиману, але відіграє значну роль у накопиченні хімічних елементів у рибі та водоростях. За даними дослідженнями були розраховані коефіцієнти небезпеки та накопичення і донної акумуляції для екосистеми Бузького лиману та показані шляхи міграції металів. За ступенем токсичності і небезпеки для гідробіонтів Бузького лиману важкі метали можна розташувати у наступний ряд (в порядку її зниження): марганець-залізо-цинк-хром-нікель-мідь.

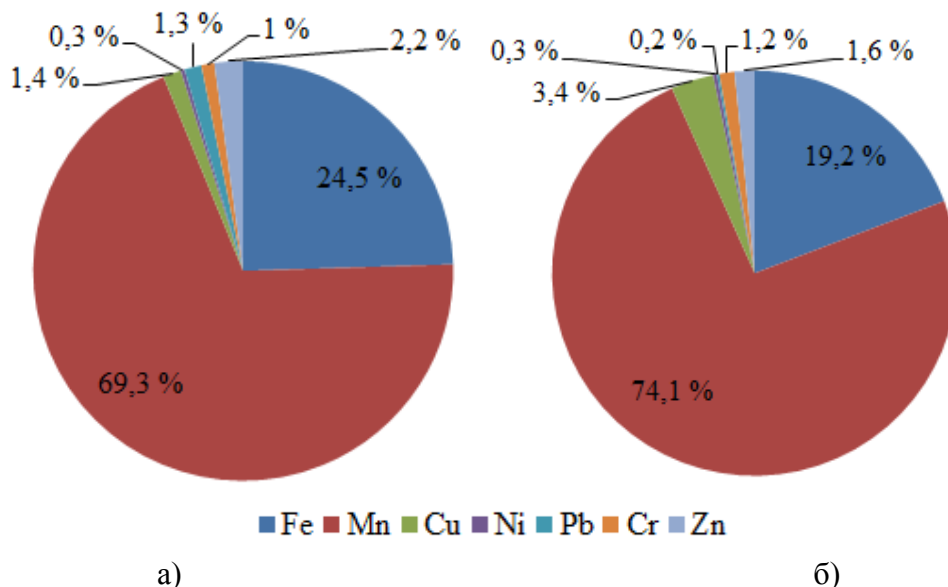


Рисунок 7 – Вміст важких металів у донних відкладеннях (а) та водоростях (б) Бузького лиману, %

Що стосується іншої гідроекосистеми, для поверхневих та підземних вод досліджуваного району (нижньої частині течії р. Інгулець) характерна висока мінералізація та жорсткість води. Це обумовлено природно-географічними умовами - засоленістю лісів та червоно-бурих глин, які їх підстилають. Проте, порівнюючи отримані дані з результатами досліджень попередників, які вивчали стан р. Інгулець, можна сказати, що середнє значення концентрацій важких металів у нижній частині даного водного об'єкту, наприклад, за вмістом міді ( $0,269 \text{ мг/дм}^3$ ) значно нижчі від концентрації у її верхів'ї ( $5,0 \text{ мг/дм}^3$ ). Тут хімічний склад р. Інгулець формується здебільшого під впливом дніпровських вод, що надходять антирікою на 75 км вверх за руслом.

За аналізами проб води на вміст важких металів (Mn і Pb) пріоритетним токсикантом є свинець (рисунок 8). Його концентрації у воді під час скидів промислових вод зростали, порівняно зі стабілізаційним періодом, у 8–9 разів. Проте, як показали дослідження, значна частина свинцю знаходилася у формі комплексних сполук з органічними речовинами, що знижує токсичну дію на іхтіофауну водойм.

Нами помічена цікава закономірність: у літні місяці концентрації металів зростають у гідроекосистемі Бузького лиману. Висунуто припущення, що це пов'язано з вторинним забрудненням металами внаслідок дії евтрофікаційних процесів, яке було підтверджене моніторинговими дослідженнями якості води

під час літніх заморів риби та у місцях заморів. Було встановлено, що у всіх точках відбору перевищені встановлені значення ГДК для водойм рибогосподарського призначення за всіма показниками. У літні місяці спостерігалася позитивна кореляція між рівнем фосфатів та БСК, заліза та міді ( $K_k = 0,71 \div 0,83$ ).

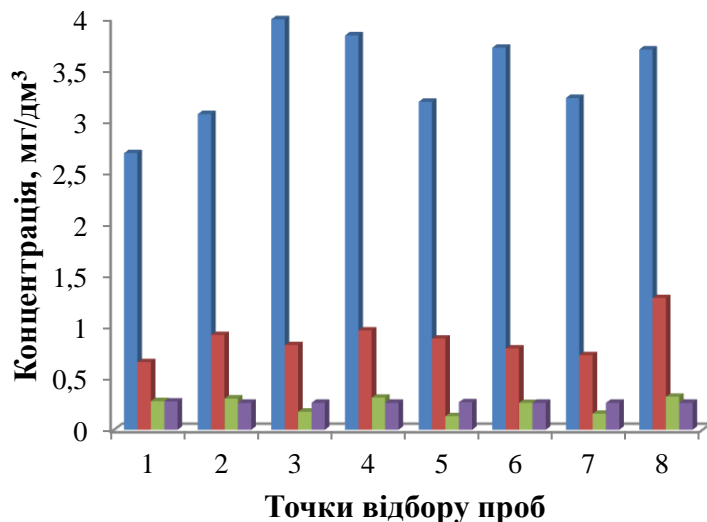


Рисунок 8 – Концентрації важких металів у воді р. Інгулець:  
 1 – м. Снігурівка;  
 2 – с. Безіменне;  
 3 – с. Афанасіївка;  
 4 – с. Нововасилівка;  
 5 – с. Романове-Булгакове;  
 6 – с. Баратівка;  
 7 – с. Новотимофіївка;  
 8 – с. Олександрівка.

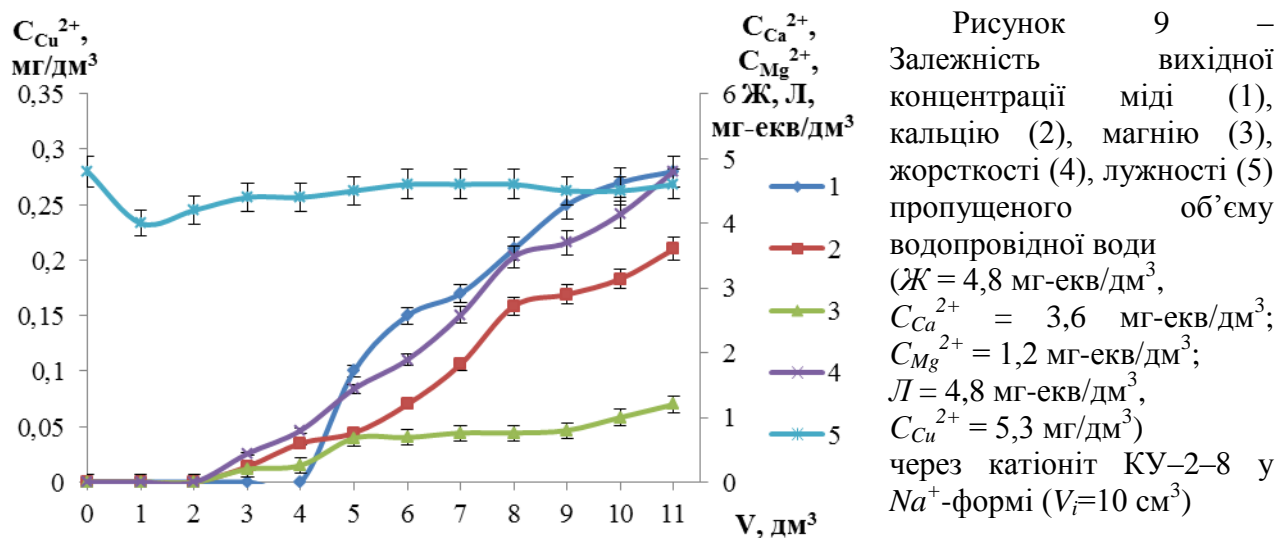
При евтрофікації починається бурхливий розвиток рослинності у поверхневому шарі води, зумовлений занадто великим надходженням до водойми біогенних компонентів. Відмерлі організми, опускаючись на дно та розкладаючись, у свою чергу, сприяють розвитку відновлювальних процесів у верхньому шарі донних відкладень, що може супроводжуватися активною ремобілізацією важких металів з твердої фази донних відкладень у придонні води. Евтрофікаційні процеси призводять до окислення органічної речовини, відновлення та розчинення гідроксидів металів і як наслідок – вторинного забруднення водойм.

Отже, навіть не дивлячись на відносно невисокі концентрації іонів важких металів у природних водоймах, вони можуть різко підвищуватись за рахунок накопичення у гідробіонтах та донних відкладах.

Тому кращим способом вирішення проблеми захисту водойм від забруднення високотоксичними речовинами є їх повне видалення зі стічних вод для попередження їх скиду в довкілля.

Як видно з представлених результатів, про рівні забруднення водойм важкими металами не можна судити лише за їх концентраціями у воді. Внаслідок евтрофікації водойм дані концентрації на певний період можуть зростати на кілька порядків. Тому для вирішення проблеми захисту водойм від забруднення високотоксичними речовинами є їх повне видалення зі стічних вод для попередження їх скиду в довкілля. При цьому доцільно вирішувати проблему видалення даних компонентів, які є досить дефіцитними та дорогими матеріалами. Це цілком можливо при організації замкнутих систем водокористування у гальванічних виробництвах, машинобудуванні та інших галузях.

Для вирішення даної проблеми було вивчено процеси іонообмінного вилучення важких металів на сильно- та слабкокислотних катіонітах у сольовій та кислій формі. Головною проблемою застосування процесів катіонування є конкуруюча сорбція іонів жорсткості на катіонітах, що призводить до значного зниження ємності катіонітів за іонами важких металів. Це видно за результатами сорбції іонів міді у присутності іонів жорсткості (рисунк 9).



$$y = 4E-07x^4 - 0,0007x^3 + 0,0156x^2 - 0,0632x + 0,0567; R^2 = 0,980; (0 < x < 20) - \text{крива 1};$$

$$y = -0,0006x^4 + 0,0102x^3 - 0,0092x^2 - 0,0511x + 0,0545; R^2 = 0,991; (0 < x < 20) - \text{крива 2};$$

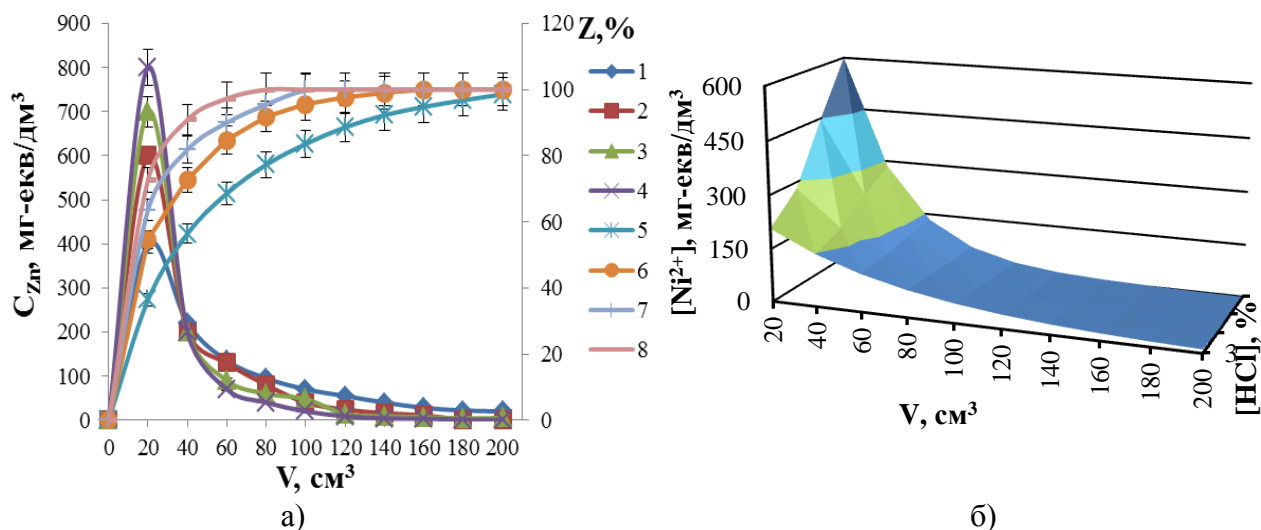
$$y = 4E-05x^5 - 0,0004x^4 - 0,0082x^3 + 0,1269x^2 - 0,386x + 0,2855; R^2 = 0,979; (0 < x < 20) - \text{крива 3};$$

$$y = 0,0002x^5 - 0,0059x^4 + 0,0604x^3 - 0,1864x^2 + 0,2196x - 0,0955; R^2 = 0,997; (0 < x < 20) - \text{крива 4};$$

$$y = 1E-04x^6 - 0,0041x^5 + 0,0675x^4 - 0,5585x^3 + 2,4143x^2 - 4,9569x + 7,8242; R^2 = 0,951; (0 < x < 20) - \text{крива 5}$$

Як видно з рисунку 9, ємність катіоніту за іонами міді та іонами жорсткості практично пропорційна їх концентраціям у воді. У більшості випадків концентрація іонів жорсткості значно переважає вміст важких металів у природних чи стічних водах, тому сорбція останніх з жорсткої води проходить неефективно. У замкнених системах вода практично повністю пом'якшена, тому видалення важких металів іонним обміном не складає проблеми. У роботі показано, що десорбція іонів важких металів проходить досить ефективно при використанні розчинів соляної та сірчаної кислот. Про вплив концентрації соляної кислоти на ефективність десорбції катіонів важких металів (на прикладі десорбції іонів нікелю) можна судити за рисунком 10.

При використанні підходів повного факторного планування експерименту методом найменших квадратів виведено рівняння регресії, яке дозволяє встановити зв'язок між концентраціями вихідних розчинів соляної кислоти, витратою цих розчинів та концентрацією металу в регенераційному розчині. Максимальної концентрації нікель досягає у розчинах кислоти з найвищою концентрацією у перших об'ємах регенератів. За перебігом процесу десорбції іонів металу їх концентрація у розчині знижується, а ступінь десорбції зростає.



а)  $y = 0,0584x^6 - 2,136x^5 + 30,001x^4 - 200,57x^3 + 634,86x^2 - 805,32x + 335,99$ ;  $R^2 = 0,810$ ;  
 $(0 < x < 250)$  – крива 1;

$y = -0,1494x^6 + 5,8239x^5 - 89,568x^4 + 686,74x^3 - 2709,6x^2 + 4985,1x - 2868,4$ ;  
 $R^2 = 0,940$ ;  $(0 < x < 250)$  – крива 2;

$y = -0,1875x^6 + 7,2836x^5 - 111,53x^4 + 850,29x^3 - 3329,9x^2 + 6068,2x - 3470,9$ ;  
 $R^2 = 0,924$ ;  $(0 < x < 250)$  – крива 3;

$y = -0,2621x^6 + 10,197x^5 - 156,25x^4 + 1189,6x^3 - 4633,8x^2 + 8347,9x - 4739,1$ ;  
 $R^2 = 0,911$ ;  $(0 < x < 250)$  – крива 4

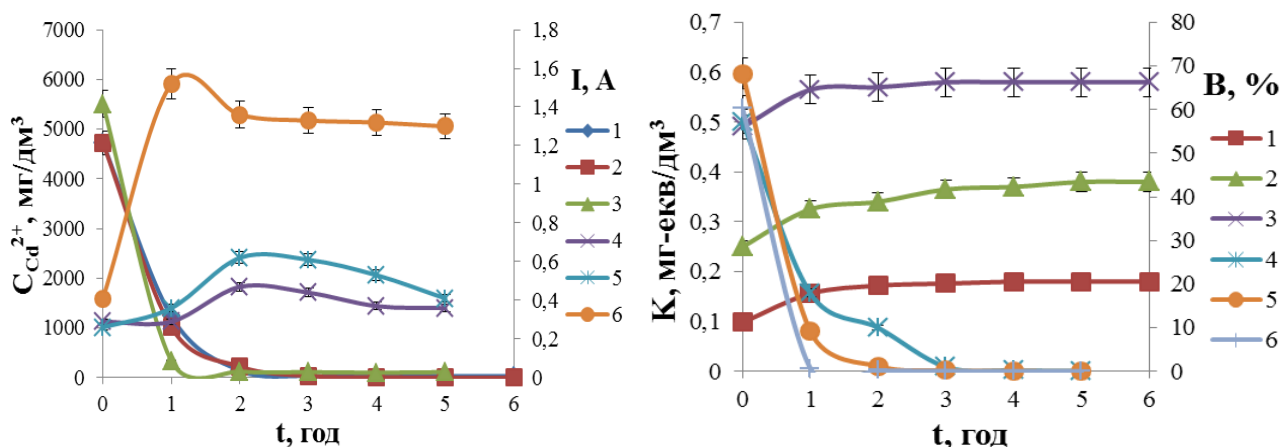
б) рівняння регресії:  $y = \exp(5,01445 - 0,0072568 \cdot V + 0,2164 \cdot C - 0,0030952 \cdot C \cdot V)$

Рисунок 10 – Залежність вихідної концентрації іонів нікелю (1; 2; 3; 4) та ступеня їхньої десорбції (5; 6; 7; 8) з катіоніту КУ–2–8 у  $Ni^{2+}$ -формі ( $V_i = 20 \text{ cm}^3$ ) від витрати розчину соляної кислоти та графічне зображення результатів ПФП типу 2<sup>2</sup>, отриманих при регенерації катіоніту

Виділення іонів важких металів на іонітах не вирішує проблеми повною мірою. Найскладнішим в іонообмінному очищенні води є переробка регенераційних розчинів. У випадку важких металів кращим способом переробки регенераційних розчинів є відновлення металів електролізом. При цьому отримані кислі розчини використовуються повторно для регенерації катіоніту. Для вилучення кадмію та міді із сірчаноокислих розчинів доцільно використовувати однокамерні електролізери (рисунок 11). Як видно з рисунку 11, в однокамерному електролізері за 1 годину кадмій вилучається майже повністю. Ефективність вилучення кадмію дещо знижується при підвищенні кислотності розчину. Різне зниження виходу за струмом обумовлене різким падінням концентрації кадмію в електроліті. У результаті електролізу було отримано металевий кадмій у вигляді порошку та розчин сірчаної кислоти, придатний для регенерації катіоніту.

Відомо, що за відносно невисоких концентрацій нікелю та цинку ( $< 50 \text{ г/дм}^3$ ) їх електрохімічне відновлення в однокамерних електролізерах проходить неефективно через зростання кислотності по мірі відновлення металів. При цьому основною катодною реакцією стає відновлення водню. А його концентрація в розчині при використанні пасивних анодів не знижується, тому

що при анодному окисленні води утворюються протони. Тому при вилученні цинку та нікелю з кислих розчинів використовували двокамерні електролізери, в яких катодний та анодний простір розділені аніонною мембраною МА-41. При відновленні металів на катоді в анодній камері концентрується розчин сірчаної кислоти. Його концентрація може досягати 10–12 %. Це цілком достатньо для повторного використання кислоти для регенерації катіоніту.



а)  $y = 0,0096x^4 - 0,1379x^3 + 0,6343x^2 - 0,9625x + 0,7133$ ;  $R^2 = 0,976$ ; ( $0 < x < 10$ ) – крива 1;  
 $y = 28,481x^4 - 552,78x^3 + 3897,5x^2 - 11844x + 13170$ ;  $R^2 = 0,998$ ; ( $0 < x < 10$ ) – крива 2;  
 $y = 99,5x^4 - 1627,1x^3 + 9573,4x^2 - 23891x + 21336$ ;  $R^2 = 0,997$ ; ( $0 < x < 10$ ) – крива 3

б)  $y = -0,0004x^4 + 0,0081x^3 - 0,0571x^2 + 0,1777x - 0,03$ ;  $R^2 = 0,998$ ; ( $0 < x < 10$ ) – крива 1;  
 $y = -0,0005x^4 + 0,01x^3 - 0,0677x^2 + 0,2106x + 0,0986$ ;  $R^2 = 0,991$ ; ( $0 < x < 10$ ) – крива 2;  
 $y = -0,0007x^4 + 0,0124x^3 - 0,084x^2 + 0,244x + 0,3193$ ;  $R^2 = 0,985$ ; ( $0 < x < 10$ ) – крива 3

Рисунок 11 – Залежність концентрації кадмію (1; 2; 3) та сили струму (4; 5; 6) (а), кислотності розчину (1; 2; 3), виходу за струмом металевого кадмію (4; 5; 6) (б) від часу електролізу кислого розчину сульфату кадмію при напрузі 5В в однокамерному електролізері ( $V = 0,1 \text{ дм}^3$ ). Вихідні концентрації кадмію (мг/дм<sup>3</sup>) та сірчаної кислоти (мг-екв/дм<sup>3</sup>): 1; 4 - 84; 98, 2; 5 - 84; 250, 3; 6 - 98; 490

Про ефективність електроекстракції цинку можна судити за таблицею 2.

Графічне зображення результатів повнофакторного експерименту з вилучення цинку електролізом та рівняння регресії даного процесу наведені на рисунку 12.

Як видно з рисунку 12, вихід за струмом цинку зростає через певний час від початку електролізу, що пов'язано з енергозатратами на зниження кислотності католіту на початковому етапі. В подальшому падіння виходу за струмом пов'язане зі зниженням концентрації цинку у розчині при його виділенні у вигляді металевого порошку. У цих випадках вихід за струмом відновленого цинку був вищий при зниженні кислотності вихідного розчину.

Подібні результати з ефективності електроекстракції були отримані при виділенні іонів міді (одно- та двокамерний електролізери) та нікелю (двокамерний електролізер).

На прикладі виділення кадмію електроекстракцією в одно- та двокамерних електролізерах було показано, що при переході від одно- до

двокамерного електролізера витрата електроенергії зростає в 2–3 рази (таблиця 3).

Таблиця 2 – Залежність ефективності виділення цинку в двокамерному електролізері (мембрана МА–41) від часу електролізу за напруги 25 В при кислотності розчинів ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), мг-екв/дм<sup>3</sup>: 100 (І), 250 (ІІ), 540 (ІІІ)

t, год.	C <sub>d</sub> <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>			I, A			K, мг-екв/дм <sup>3</sup>						B, %		
							католіт			аноліт					
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0,0	128	127	120	0,315	0,685	0,690	100	250	560	50	50	50	-	-	-
1,0	75	83	85	0,185	0,190	0,210	32,2	60,0	60,1	171	284	585	42,5	17,3	14,0
2,0	25	29	32	0,050	0,040	0,060	32,7	45,1	50,2	221	327	628	72,7	76,4	67,9
3,0	16	20	16	0,030	0,030	0,060	32,4	35,4	40,3	226	339	640	80,4	61,6	72,7
4,0	14	14	6	0,010	0,030	0,040	28,8	35,2	40,1	231	343	641	53,7	52,4	45,5
5,0	13	10	4	0,010	0,030	0,030	28,9	30,1	35,4	234	342	643	26,9	35,7	13,4
6,0	12,0	8	3	0,010	0,030	0,030	28,0	30,0	30,1	238	343	642	26,9	17,9	8,6
7,0	11,7	6	2	0,005	0,030	0,030	26,0	30,0	30,0	239	344	642	16,1	16,9	8,4
8,0	11,5	4	1	0,005	0,030	0,030	24,0	29,9	30,0	239	343	641	10,8	16,5	8,2

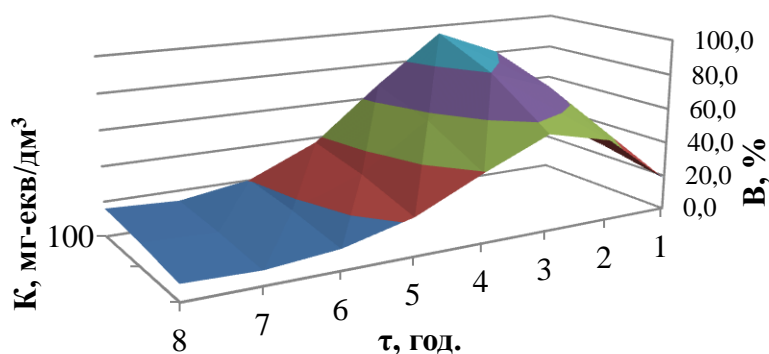


Рисунок 12 – Графічне зображення результатів ПФП типу 2<sup>2</sup> при електроекстракції цинку у двокамерному електролізері.

$$y = \exp(1,61705 + 2,5435 \cdot \tau - 0,634 \cdot \tau^2 + 0,042 \cdot \tau^3 - 0,0011787 \cdot K)$$

Таблиця 3 – Залежність витрати електроенергії на відновлення металу від складу розчину, типу електролізера та часу електролізу

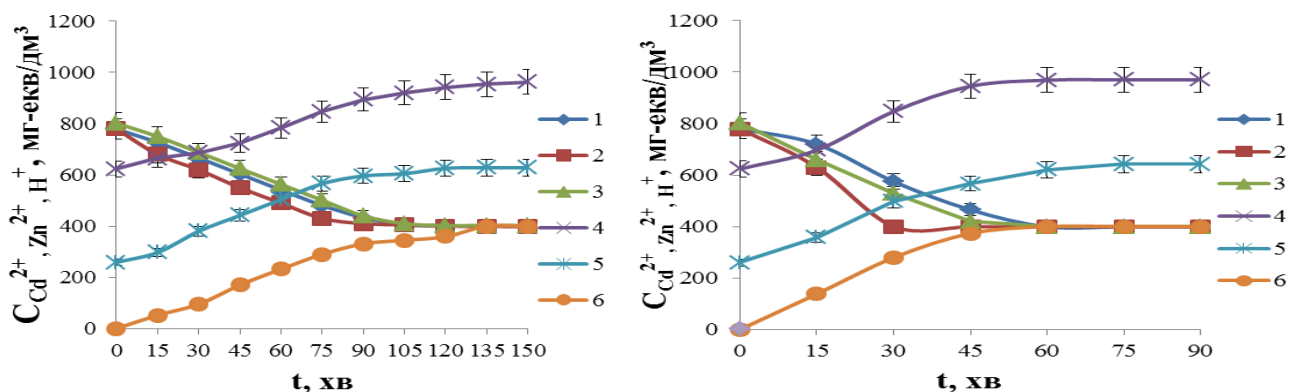
t, год.	Витрата електроенергії, кВт·год/г-екв								
	Однокамерний			Двокамерний					
	$[\text{Cd}^{2+}]/[\text{H}_2\text{SO}_4]$ , мг-екв/дм <sup>3</sup>			$[\text{Cd}^{2+}]/[\text{H}_2\text{SO}_4]$ , мг-екв/дм <sup>3</sup>			$[\text{Zn}^{2+}]/[\text{H}_2\text{SO}_4]$ , мг-екв/дм <sup>3</sup>		
	84/98	84/250	98/490	92/100	92/250	96/540	128/100	128/250	120/5560
1	0,15	0,17	0,81	0,36	0,42	1,84	0,86	1,10	2,04
2	1,12	1,68	-	0,63	0,67	1,99	0,94	1,11	2,06
3	-	-	-	0,89	0,91	2,50	1,02	1,25	2,25
4	-	-	-	1,07	10,7	2,72	1,47	1,59	2,38
5	-	-	-	1,43	11,71	-	4,81	2,14	4,28
6	-	-	-	7,14	12,50	-	7,15	-	4,51



Відомо, що при наявності хлоридів у розчинах в анодній області відбувається утворення активного хлору, що є причиною руйнування сталей, свинцевих або алюмінієвих анодів. Тому процеси електрохімічного вилучення важких металів з солянокислих розчинів вивчені мало.

Нами розроблено конструкцію трикамерного електролізера, в якому відновлення металів відбувається на катоді, окислення води з виділенням кисню відбувається на аноді, а в середній камері, відділеній від католіту аніонною мембраною, від аноліту - катіонною мембраною, відбувається концентрування соляної кислоти. При переробці солянокислих розчинів кадмію, міді, цинку та нікелю було досягнуто зниження концентрацій металів у католіті до 10–50 мг/дм<sup>3</sup>, при концентрації соляної кислоти у середній камері 8–11 %. Ця концентрація достатня для повторного використання кислоти для регенерації катіоніту. При очищенні католіту від катіонів важких металів його фільтрували через катіоніт КУ–2–8 у кислій формі. Очищену воду після нейтралізації на аніоніті направляли для повторного використання у водоциркуляційних системах.

Крім вивчення електроекстракції металів із регенераційних розчинів, нами були досліджені процеси розділення суміші металів на прикладі цинку та кадмію. На іонітах дані іони можна розділяти при проведенні процесів у режимі хроматографування із розведених кислих розчинів при незначному заповненні ємності іоніту. Проте, при максимальному концентруванні катіонів важких металів досягнути хоча б якогось розділення цинку, кадмію, міді та нікелю в різних сумішах було неможливо, тому проблему розділення вирішували при електроекстракції (рисунок 13).



- а)  $y = 0,5907x^3 - 6,3893x^2 - 41,268x + 851,77$ ;  $R^2 = 0,998$ ; ( $0 < x < 300$ ) – крива 1;  
 $y = -0,093x^3 + 7,4953x^2 - 115,18x + 888,8$ ;  $R^2 = 0,996$ ; ( $0 < x < 300$ ) – крива 2;  
 $y = 0,5907x^3 - 6,3893x^2 - 41,268x + 851,77$ ;  $R^2 = 0,998$ ; ( $0 < x < 300$ ) – крива 3
- б)  $y = -2,0152x^4 + 35,465x^3 - 199,58x^2 + 317,65x + 629$ ;  $R^2 = 1,0$ ; ( $0 < x < 300$ ) – крива 1;  
 $y = 2,2417x^5 - 46,625x^4 + 357,04x^3 - 1203,4x^2 + 1583,2x + 88,571$ ;  $R^2 = 0,993$ ; ( $0 < x < 300$ ) – крива 2;  
 $y = -1,3788x^4 + 21,727x^3 - 96,833x^2 + 20,775x + 857,14$ ;  $R^2 = 0,999$ ; ( $0 < x < 300$ ) – крива 3

Рисунок 13 – Залежність сумарної концентрації іонів кадмію та цинку (1; 2; 3), кислотності розчину (4; 5; 6) від часу електролізу при силі струму 1 А (а), 2,5 А (б): 399; 381; 624 (1; 4), 399; 381; 259 (2; 5), 400; 402; 0 (3; 6) - концентрації іонів цинку, кадмію та сірчаної кислоти, відповідно, мг-екв/дм<sup>3</sup>

Як видно з рисунку 13, при проведенні процесу відновлення металів із сірчаноокислих розчинів відбувається ефективно вилучення кадмію, а іони цинку залишаються у розчині. Обумовлено це високою кислотністю, яка створюється при відновленні кадмію (анодною реакцією є окислення води з утворенням кисню та протонів). Вихід за струмом кадмію дещо знижується при підвищенні кислотності та, особливо суттєво, при зниженні концентрації кадмію.

Іони цинку, що залишились в електроліті, досить легко виділяються у двокамерному електролізері, як це видно з таблиці 2 та показано на рисунку 12.

При електролізі суміші хлоридів кадмію та цинку в солянокислому розчині розділити кадмій і цинк не вдалося. Проте при цьому було показано, що вилучення цинку в однокамерному електролізері можливе в присутності хлоридів. В даному випадку кислотність розчину знижувалась за рахунок електрохімічного розкладення соляної кислоти.

У роботі були розроблені маловідходні технології очищення води від іонів важких металів. Технології передбачають іонообмінне вилучення катіонів важких металів, електролітичне вилучення їх з регенераційних розчинів з повторним використанням кислих розчинів для регенерації катіонітів.

Одна з таких технологічних схем представлена на рисунку 14.

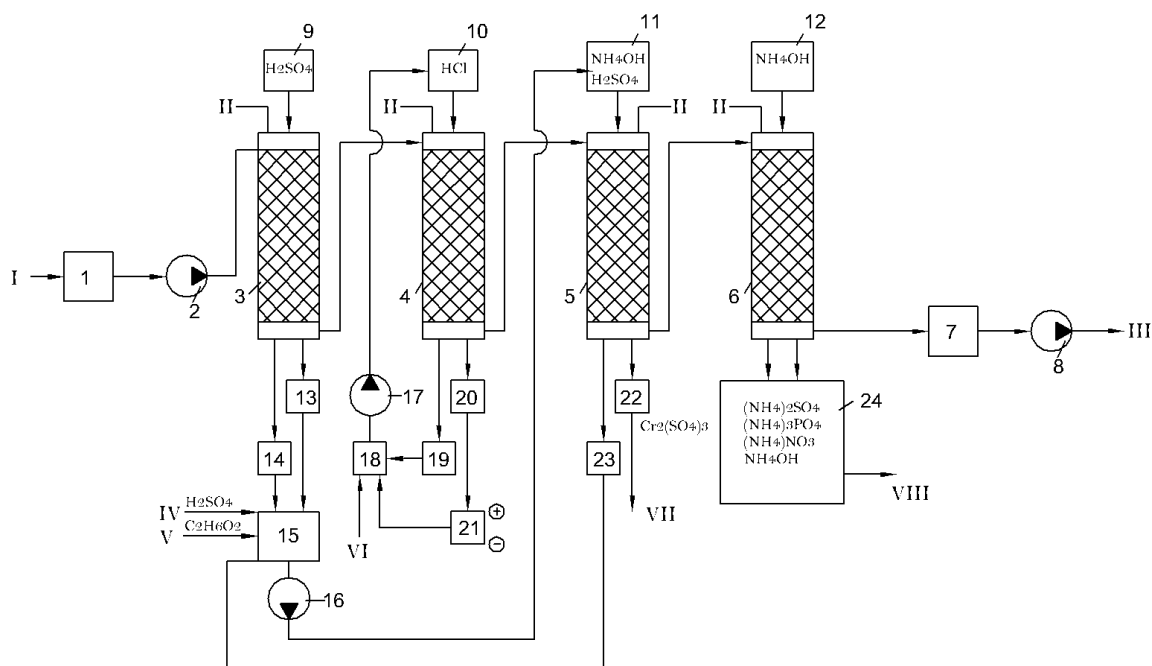


Рисунок 14 – Принципова технологічна схема установки очищення промивних вод гальванічних виробництв:

1 – резервуар стічних вод; 2, 8, 16, 17 – насоси; 3, 4 – катіонообмінні фільтри; 5, 6 – аніонообмінні фільтри; 7 – резервуар очищеної води; 9, 10, 11, 12 – витратні баки розчинів реагентів; 13, 20, 22, 24 – резервуари відпрацьованих регенераційних розчинів; 14, 19, 22 – резервуари промивних вод; 15, 18 – розчинні баки; 21 – електролізер; I – подача стічних вод; II – подача промивних вод; III – подача води на повторне використання; IV – подача сірчаної кислоти; V – подача етиленгліколю; VI – подача соляної кислоти; VII – розчин сульфату хрому на вторинне використання; VIII – на виробництво рідких добрив



Хромати, сульфати, фосфати та нітрати вилучаються на високоосновному та низькоосновному аніонітах. Високоосновний аніоніт в сульфатній формі сорбує хромати, що після регенерації виділяються у вигляді сульфату хрому (III). Нітрати, фосфати та сульфати сорбуються на низькоосновному аніоніті в основній формі. Після регенерації аніоніту розчинами аміаку отримують розчини, що придатні для виготовлення рідких добрив.

У шостому розділі показано результати з інтенсифікації біологічних процесів очищення води. Вирішення проблеми чистої води потребує не тільки розробки нових надійних способів очищення і доочищення, а й величезних капіталовкладень, що значно ускладнює реалізацію багатьох проектів через їх високі енерговитрати і великі матеріальні затрати на будівництво та експлуатацію. Проте, на базі вже існуючих очисних споруд можливо значно підвищити ефективність традиційного біологічного методу очищення стічних вод, не вдаючись до будівництва нових споруд та установки енергоємного обладнання. Одним з перспективних методів біологічного очищення є ЕМ–технології (технології з використанням ефективних мікроорганізмів).

Не дивлячись на високу ефективність біологічних методів очищення води від сполук біогенних елементів, вони вирішують далеко не всі проблеми очищення та доочищення води від сполук азоту та фосфору.

Нами проведено ряд лабораторних досліджень з порівняння ЕМ–препаратів з іншими активними мікробіологічними препаратами та зіставлення їх характеристик, від ціни до ефективності. ЕМ–препарат виявився оптимальним за цим співвідношенням.

Після проведення серії лабораторних дослідів з підбору достатньої концентрації препаратів у залежності від якісних показників стічних вод, проведено ряд виробничих експериментів, у яких використання доочищення призвело до зниження показників забруднення. Розроблено регламенти використання препаратів на різних очисних спорудах та оцінено ступінь очищення води за даними регламентами. На прикладі очисних споруд м. Скадовськ показано, що практично всі показники доведені до значень ГДК, особливо це стосується літнього періоду, коли навантаження на очисні споруди зростає під час курортного сезону (таблиця 4).

Проведено дослідження із визначення ефективності ЕМ-технології з використанням біопрепарату «Тамір» для доочищення промислових стічних вод молокопереробного підприємства. Виявлена найбільш доцільної як з економічного, так і екологічного боку, ступінь розведення препарату та умови максимально ефективної дії.

Проведена серія експериментів з очищення стічних вод різних комунальних підприємств. Показано, що застосування біологічної очистки стічних вод із використанням ЕМ-препаратів має найвищий ступінь ефективності при очищенні стічних вод у біологічних ставках або на полях фільтрації, а також у аеротенках. У випадках очищення низькоконцентрованих стічних вод – в очисних спорудах з періодом утримання стоків на етапі біологічного очищення не менше 24 годин, а висококонцентрованих стічних

вод – у відстійниках з періодом утримання стоку на етапі біологічного очищення понад 120 годин.

Таблиця 4 - Показники якості стічних вод КП «Очисні споруди» м. Скадовськ після очищення з додаванням препарату «Тамір»

Показники	До очищення	Після очищення	ГДК
Прозорість, см	1,45	24,00	$\geq 20$
pH	7,25	7,25	6,5÷8,5
Розчинений кисень, мг/дм <sup>3</sup>	3,90	4,15	$\geq 6,00$
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	119,00	10,50	$\leq 15,0$
Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	669,00	1030,00	1000
Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	8,95	0,2	0,17
Залізо, мг/дм <sup>3</sup>	0,32	0,04	0,05
Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	54,75	0,45	0,5
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	0,00	31,50	40,0
Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	0,00	0,07	0,08
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	271,50	193,80	300,0
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	170,00	151,00	100
ХСК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	160,00	61,50	80
БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	150,00	13,00	$\leq 15,0$

Показана можливість використання препарату «Тамір» для доочищення стічних вод на очисних спорудах комунального підприємства при перевищенні нормативів скиду за біогенними елементами. Після застосування препарату ЕМ-технології протягом місяця спостерігалось зниження концентрації азоту амонійного, фосфору, нітритів та заліза до нормативних значень ГДК.

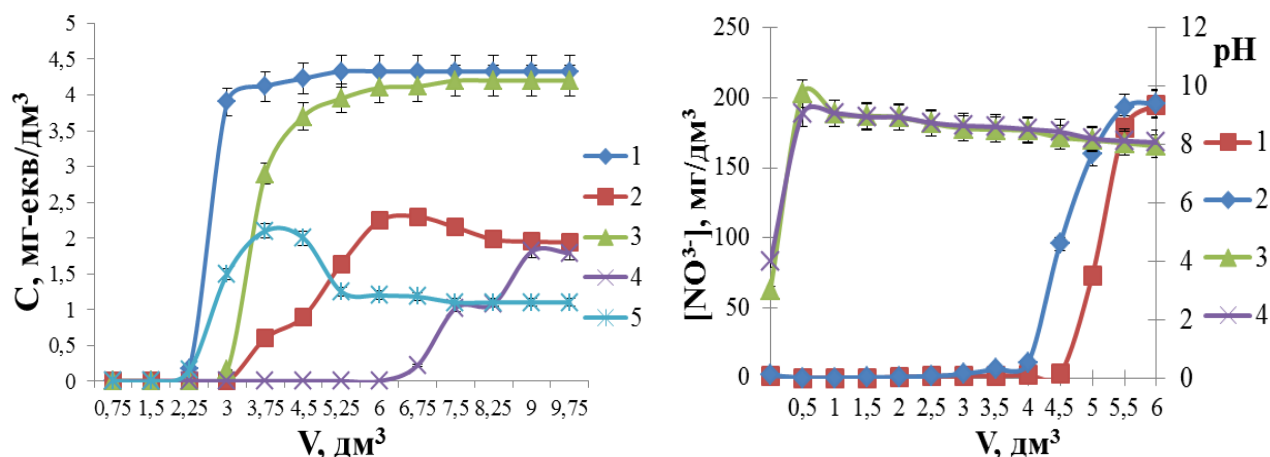
У результаті досліджень показано, що препарат «Тамір» дозволяє поліпшити органолептичні показники якості води, такі як колір, запах та прозорість, а також хімічні показники: хімічне та біохімічне споживання кисню, зменшення концентрації органічних речовин, жирів, амонійного азоту, нітратів, фосфатів, завислих речовин.

Нами було проаналізована можливість використання даного препарату для біорозкладання нафтопродуктів. У якості біотесту використовували зерна вівса, які пророщували у воді з різною концентрацією дизельного палива. У всіх випадках ЕМ-препарат стимулював біорозкладання дизельного палива. На основі біотестування показана можливість використання ЕМ-технологій як активного інструмента процесу біодеградації нафтопродуктів при забрудненні водного середовища.

**Сьомий розділ** присвячено вивченню процесів очищення та доочищення природних та стічних вод від сполук азоту та фосфору.

Процесам вилучення нітратів на аніонітах останнім часом приділялось достатньо уваги. Проте процеси вилучення нітратів на низькоосновних

аніонітах в основній та сольовій формі вивчені недостатньо. Отримані нами результати по сорбції нітратів в присутності сульфатів та хлоридів на низькоосновному аніоніті наведені на рисунку 15.



а) Концентрації: 1, 2, 3 - нітратів; 4 - сульфатів; 5 - хлоридів; 1 - розчин азотної кислоти; 2, 4 - суміш азотної та сірчаної кислот; 3, 5 - суміш азотної та соляної кислот;  
 $y = -0,001x^5 + 0,0387x^4 - 0,5228x^3 + 3,0061x^2 - 6,0479x + 3,4871$ ;  $R^2 = 0,933$ ;

( $0 < x < 20$ ) – крива 1;  
 $y = 0,0004x^5 - 0,0112x^4 + 0,1187x^3 - 0,4561x^2 + 0,6535x - 0,2883$ ;  $R^2 = 0,990$ ; ( $0 < x < 20$ ) – крива 2;  
 $y = -0,0004x^5 + 0,0159x^4 - 0,2618x^3 + 1,8664x^2 - 4,7455x + 3,327$ ;  $R^2 = 0,958$ ; ( $0 < x < 20$ ) – крива 3;  
 $y = -0,0002x^5 + 0,0067x^4 - 0,0712x^3 + 0,3223x^2 - 0,6047x + 0,3577$ ;  $R^2 = 0,977$ ; ( $0 < x < 300$ ) – крива 4;  
 $y = -0,0007x^5 + 0,0253x^4 - 0,332x^3 + 1,8415x^2 - 3,7076x + 2,178$ ;  $R^2 = 0,889$ ; ( $0 < x < 300$ ) – крива 5

б) Концентрації: 1, 2 – нітратів; 3, 4 – pH; 1, 3 – на катіоніті КУ–2–8; 2, 4 – на катіоніті Dowex Mac–3;

$y = -0,0487x^5 + 1,5564x^4 - 17,487x^3 + 84,677x^2 - 169,83x + 105,85$ ;  $R^2 = 0,968$ ;

( $0 < x < 20$ ) – крива 1;

$y = -0,0439x^5 + 1,2479x^4 - 12,249x^3 + 51,652x^2 - 90,961x + 51,245$ ;  $R^2 = 0,988$ ;

( $0 < x < 20$ ) – крива 2;

$y = -0,0002x^5 + 0,0057x^4 - 0,0784x^3 + 0,5029x^2 - 1,5919x + 10,868$ ;  $R^2 = 0,985$ ;

( $0 < x < 20$ ) – крива 3;

$y = 0,0001x^5 - 0,0038x^4 + 0,0458x^3 - 0,2491x^2 + 0,5053x + 8,7477$ ;  $R^2 = 0,992$ ;

( $0 < x < 20$ ) – крива 4

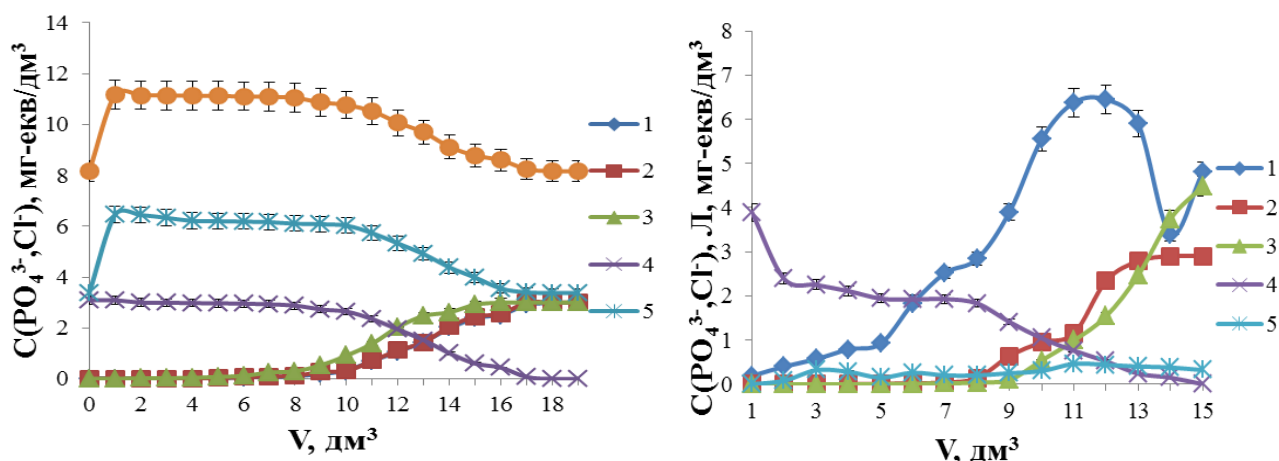
Рисунок 15 – Результати сорбції іонів на низькоосновному аніоніті DOWEX MARATHON WBA із розчинів кислот (а) та  $H^+$ -катіонованої артезіанської води (б)

Як видно з рисунку 15, нітрати добре сорбуються як з модельних розчинів, так із катіонованої артезіанської води, що містила нітрати, хлориди та сульфати. У процесі насичення аніоніту нітрати ефективно витісняють хлориди з аніоніту, що підвищує ємність аніоніту за нітратами. Дане припущення підтверджено результатами, отриманими при сорбції нітратів на аніоніті в хлоридній формі. При використанні аніонітів у хлоридній формі нітрати ефективно вилучались із води. Це досить важливо при підготовці питної води із артезіанських свердловин, вода яких містить нітрати в значних концентраціях. Дані аніоніти можна використовувати як в процесах водопідготовки, так і очищення стічних вод.

Перевагою низькоосновних аніонітів є те, що вони досить ефективно регенеруються розчинами хлоридів натрію та амонію або розчинами аміаку та карбонату амонію. З точки зору переробки відпрацьованих регенераційних розчинів краще використовувати розчини аміаку або карбонату амонію.

У роботі було показано, що вилучення іонів амонію на катіонітах проходить ефективно лише при повному знесоленні води. У присутності інших катіонів, особливо іонів жорсткості, ємність катіоніту КУ-2-8 за іонами амонію незначна.

Іонообмінний метод було також використано для вилучення фосфатів із води. На відміну від нітратів, які добре сорбуються на високо- та низькоосновних аніонітах в хлоридній формі, фосфати ефективно сорбуються переважно на високоосновних аніонітах у сольовій формі. Сорбція на низькоосновних аніонітах залежить від реакції середовища. При підвищених рН низькоосновний аніоніт Dowex Marathon WBA практично не сорбує фосфати, з кислих розчинів в основній формі він сорбує як дигідроортофосфати натрію, так і ортофосфорну кислоту (рисунок 16).



а) 1, 2, 3 – фосфати; 4, 5, 6 – хлориди; 1 – 6 – концентрація фосфату натрію за  $\text{PO}_4^{3-}=3,0$  мг-екв/дм³; концентрація хлоридів, мг-екв/дм³: 0 (1;4); 120 (2;5); 290 (3;6);  
 $y = -0,0002x^4 + 0,0093x^3 - 0,1004x^2 + 0,3758x - 0,3677$ ;  $R^2 = 0,995$ ; ( $0 < x < 50$ ) – крива 1;  
 $y = -0,0002x^4 + 0,0095x^3 - 0,1026x^2 + 0,3873x - 0,3832$ ;  $R^2 = 0,995$ ; ( $0 < x < 50$ ) – крива 2;  
 $y = 2E-05x^5 - 0,0014x^4 + 0,0284x^3 - 0,227x^2 + 0,6965x - 0,5893$ ;  $R^2 = 0,993$ ; ( $0 < x < 50$ ) – крива 3

б) 1, 2, 3 – фосфати; 4 – хлориди; 5 – лужність;  
 1, 4, 5 – ортофосфат натрію; 2 – дигідроортофосфат натрію; 3 – ортофосфорна кислота; 1, 2, 4, 5 – Cl⁻-форма аніоніту; 2, 3 – основна форма;  
 $y = 8E-05x^4 - 0,0061x^3 + 0,1071x^2 - 0,3523x + 0,3048$ ;  $R^2 = 0,980$ ; ( $0 < x < 40$ ) – крива 1;  
 $y = 1E-06x^6 - 6E-05x^5 + 0,0006x^4 + 0,0072x^3 - 0,1209x^2 + 0,4589x - 0,4205$ ;  $R^2 = 0,977$ ; ( $0 < x < 50$ ) – крива 2;  
 $y = -2E-05x^5 + 0,0013x^4 - 0,0223x^3 + 0,1634x^2 - 0,4741x + 0,3919$ ;  $R^2 = 0,993$ ; ( $0 < x < 50$ ) – крива 3

Рисунок 16 – Залежність концентрації фосфатів та хлоридів від пропущеного об'єму розчину фосфату натрію в дистильованій воді через аніоніт АВ-17-8 в Cl⁻-формі (а) і концентрації фосфатів, хлоридів, лужності від пропущеного об'єму розчинів ортофосфату та дигідроортофосфату натрію, ортофосфорної кислоти в дистильованій воді через аніоніт Dowex Marathon WBA в Cl⁻ та основній формі (б)

Як і у випадку нітратів, при сорбції на високоосновних аніонітах фосфати за селективністю поступаються сульфатам і близькі до нітратів. Тому за високих концентрацій сульфатів при вилученні фосфатів та нітратів доцільно проводити попереднє очищення від сульфатів.

При близьких концентрацій фосфатів, нітратів та сульфатів їх доцільно разом концентрувати на аніоніті, а після регенерації аміаком або карбонатом амонію відпрацьовані регенераційні розчини доцільно використовувати для виробництва рідких добрив.

Принципову технологічну схему з очищення води від фосфатів та нітратів представлено на рисунку 17.

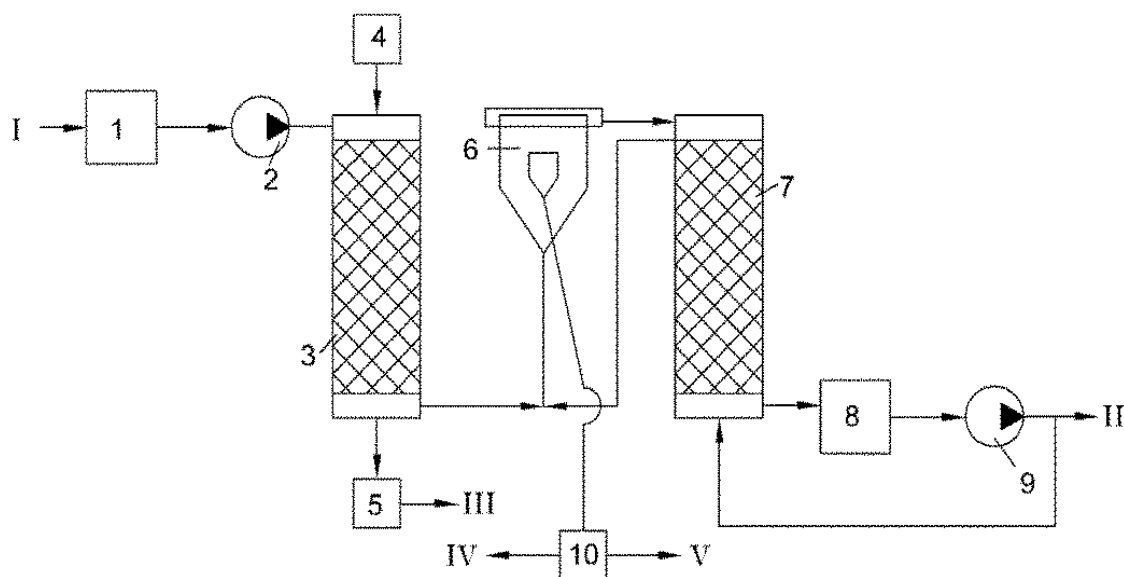


Рисунок 17 – Принципова технологічна схема очищення води від фосфатів і нітратів:

1 – приймальна камера; 2, 9 – насоси; 3 – аніонообмінний фільтр (АВ-17-8), 4 – витратний бак розчину; 5 – приймальний резервуар; 6 – просвітлювач із завислим шаром осаду; 7 – фільтр; 8 – резервуар чистої води; 10 – фільтр-прес; I – подача води; II – вода до споживача; III – розчин на переробку; IV – до каналізації; V – на захоронення

У даній технології передбачено використання високоосновного аніоніту АВ-17-8 у карбонатній формі. Даний аніоніт ефективно сорбує нітрати, фосфати, а при наявності і хлориди та сульфати. Оскільки селективність аніоніту за хлоридами найнижча, то їх концентрування на аніоніті не відбувається. Регенерація аніоніту здійснюється розчином карбонату амонію. Відпрацьовані розчини придатні для виготовлення рідких добрив.

При переході карбонат-іонів у розчин відбувається пом'якшення води за рахунок осідання карбонату кальцію. Для відділення осаду передбачено застосування просвітлювача із завислим шаром осаду. Доочищення води відбувається на швидких фільтрах.

## ВИСНОВКИ

1. За даними аналізу моніторингових служб Миколаївської області та результатами власних спостережень проведено оцінку стану гідроекосистеми Миколаївської області, визначено вплив основних водоспоживачів та водокористувачів на стан водних об'єктів. Встановлено рівень перевищення допустимих норм за ХСК, концентраціями хлоридів та сульфатів, сполуками біогенних елементів та іншими показниками.

2. Визначено умови отримання коагулянтів зі шламу Миколаївського глиноземного заводу, з насіння *Moringa oleifera*, проведено оцінку їх ефективності при очищенні та знезараженні води.

3. Розроблено реагенти та методи стабілізаційної обробки води для забезпечення раціонального використання води в промисловості та енергетиці. Вдосконалено методи реагентного та іонообмінного пом'якшення і знесолення води з високим рівнем жорсткості та підвищеною мінералізацією.

4. Проведено дослідження з визначення вмісту та розподілу важких металів у водах Бузького лиману, встановлено характер їх розподілу, коефіцієнти небезпеки та накопичення важких металів у компонентах екосистеми лиману. Проведено оцінку впливу евтрофікаційних процесів на міграцію важких металів у водних середовищах. Встановлено кореляційні залежності між вмістом у воді важких металів та фосфатів. Показано, що гідроекологічний стан басейну р. Інгулець формується у результаті складної взаємодії та комплексного впливу природних та антропогенних факторів.

5. Вивчено процеси іонообмінного вилучення важких металів з води для створення технологій очищення води при організації безстічних систем водокористування на гальванічних виробництвах. Проведено оцінку ефективності катіонітів при вилученні іонів важких металів з води у широкому діапазоні їх концентрацій, визначено вплив іонів жорсткості на ефективність очищення води. Показано, що іони важких металів, їхні суміші ефективно десорбуються з іоніту при використанні розчинів сірчаної, соляної кислот та хлористого натрію.

6. Визначено умови електрохімічного відновлення важких металів з кислих та сольових розчинів. На прикладі кадмію показано, що енергозатрати на електроекстракцію металу у двокамерному електролізері у 2-3 рази вищі у порівнянні з однокамерним. Визначено вплив кислотності на ефективність електрохімічного відновлення металів із розчинів невисоких концентрацій. Показано, що нікель і цинк ефективно вилучаються електровідновленням у двокамерних електролізерах незалежно від кислотності розчинів.

7. Показано, що застосування трикамерних електролізерів забезпечує високу ефективність електроекстракції кадмію, міді, нікелю та цинку з отриманням соляної кислоти концентрацією до 10 %.

8. Встановлено параметри процесів вилучення металів із розчинів їх сумішей у процесі електроекстракції та умови розділення металів за рахунок регулювання кислотності їх розчинів.

9. Визначено параметри застосування технологій ефективних мікроорганізмів для інтенсифікації біологічних процесів очищення промислових та комунально-побутових стічних вод, підвищення ефективності очищення від розчинних та нерозчинних органічних речовин, сполук біогенних елементів, нафтопродуктів.

10. Вивчено процеси очищення природних та доочищення стічних вод від нітратів, фосфатів, амонію методом іонного обміну. Визначено залежність ефективності процесів від характеристик води, форми та типу аніонітів і катіонітів. Розроблено процеси регенерації іонітів, які забезпечують використання відпрацьованих регенераційних розчинів при виробництві рідких добрив.

11. Розроблено нові принципові технологічні схеми пом'якшення та знесолення води, нові маловідходні технології очищення води від іонів важких металів та сполук азоту і фосфору.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті, які входять до науково-метричних баз даних та до фахових видань*

1. Gomelya N. Low-waste ion exchange technology of extraction of nitrogen compounds from water / N. Gomelya, **G. Trohymenko**, T. Shabliij // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 3, № 10 (81). – 2016. – Pp. 18–23 (**Scopus, Index Copernicus, WorldCat**). *Автору належить проведення експерименту та аналізу результатів з очищення води за технологією іонного обміну.*

2. Gomelya N. Research into ion exchange softening of highly mineralized waters / N. Gomelya, V. Hrabitchenko, **A. Trokhymenko**, T. Shabliij // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 4, № 10 (82). – 2016. – Pp. 4–9 (**Scopus, Index Copernicus, WorldCat**). *Автору належить проведення експерименту та аналізу результатів з очищення води за технологією іонного обміну.*

3. Гомеля Н. Д. Новые ингибиторы коррозии и отложения осадков для систем водоциркуляции / Н. Д. Гомеля, Т. А. Шаблий, **А. Г. Трохименко**, М. М. Шуриберко // Химия и технология воды. - Т. 39, № 2(256). – 2017. – С. 169 – 177 (**Scopus**). *Автору належить синтез нових інгібіторів та застосування їх для систем водоциркуляції.*

4. Gomelya N. Study of using the anionites in low-waste process of the water purification from phosphates / N. Gomelya, A. Petrchenko, **A. Trokhimenko**, Y. Martyniuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 3, № 10 (87). – 2017. – Pp. 36–41 (**Scopus, Index Copernicus, WorldCat**). *Автору належить проведення експерименту та аналізу результатів з очищення води за технологією іонного обміну.*

5. **Trokhymenko G.** Development of low waste technology of water purification from copper ions / G. Trokhymenko, M. Gomelya // Scientific-Technical Journal "Chemistry and Chemical Technology". – Vol.11, №. 3. – 2017. – Pp. 372–377 (**Scopus, Index Copernicus, WorldCat**). *Автори належать експериментальні дослідження з очищення води від іонів міді та аналіз отриманих даних.*

6. Gomelya N. Electroextraction of heavy metals from wastewater for the protection of natural water bodies from pollution / N. Gomelya, G. Trohymenko, O. Hlushko, T. Shabliij // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 1, № 10 (91) – Pp. 55 – 61 (**Scopus, Index Copernicus, WorldCat**). *Автори належить проведення експериментальних досліджень з виділення важких металів у двокамерному електролізері.*

7. Магась Н. І. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг / Н. І. Магась, **А. Г. Трохименко** // Екологічна безпека. – 2013. – № 2 (16). – С. 48 – 52 (**Ulrich's Web Global Serials Directory, eLIBRARY, Index Copernicus**). *Автори належить розрахунок антропогенного навантаження та ступеня екологічної небезпеки.*

8. Магась Н. І. Оцінка ступеня екологічної небезпеки об'єктів на прикладі комунальних підприємств Миколаївської області / Н. І. Магась, **А. Г. Трохименко** // Екологічна безпека: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. - Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 20 (2/2015). – С. 48 – 53 (**Ulrich's Web Global Serials Directory, eLIBRARY, Index Copernicus**). *Автори належить розрахунок антропогенного навантаження та ступеня екологічної небезпеки.*

9. Кельїна С. Ю. Моніторинг поверхневих вод Миколаївської області за показниками ХСК в умовах гетерогенного фотокаталізу / С. Ю. Кельїна, Д. О. Цимбал, А. С. Сухарева, **А. Г. Трохименко** // Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2015. – Випуск 25.6. – С. 147-153 (**Index Copernicus, Crossref, WorldCat**). *Автори належить проведення дослідів із порівняльного аналізу арбітражної і фотокаталітичної методик визначення ХСК.*

10. Шумілова О. О. Дослідження явища масового замору риби у Миколаївській області в серпні 2010 року / О. О. Шумілова, **Г. Г. Трохименко** // Вісник Національного університету кораблебудування: електронне видання. – 2010. – № 5. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua/article/view/25099/22521>. *Автори належить проведення дослідів з вимірювання фізико-хімічних показників у зоні заморів, кореляційний аналіз.*

11. Шумілова О.О. Оцінка ризику потрапляння інвазивних і патогенних видів у водну екосистему Дніпро-Бузького лиману шляхом перенесення судовими баластними водами / О. О. Шумілова, **Г. Г. Трохименко** / Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2010. – № 2 (431). – С. 150 – 156. *Автори належить дослідження кількості суден, що надходять до Миколаївського торговельного порту, географії їхніх баластних вод і гідробіонтів, що входять до їхнього складу.*



12. Федюкіна Д. В. Дослідження ефективності використання препарату «Тамір» в процесі мікробіологічної біодеструкції нафтових вуглеводнів / Д. В. Федюкіна, Я. І. Пекарська, **Г. Г. Трохименко** // Вісник Національного університету кораблебудування: електронне видання. – 2011. – № 2. – С. 147 – 153. – Режим доступу: [evn.nuos.edu.ua/article/view/23789/21340](http://evn.nuos.edu.ua/article/view/23789/21340). *Автору належить методологія та проведення багатofакторного експерименту з біодеструкції вуглеводнів препаратом «Тамір».*

13. Шумілова О. О. Дослідження впливу евтрофікації на вторинне забруднення Бузького лиману важкими металами / О. О. Шумілова, **Г. Г. Трохименко** // Вісник Національного університету кораблебудування: електронне видання. – 2012. – № 1. – С. 56 – 62. – Режим доступу: <http://evn.nuos.edu.ua/article/view/22570/20193>. *Автору належить дослідження рівня ступеня забруднення лиману важкими металами.*

14. Магась Н. І. Оцінка потужності водоохоронних заходів у басейні р. Південний Буг на прикладі Миколаївського району Миколаївської області / Н. І. Магась, **Г. Г. Трохименко** // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування – 2013. – № 2 (447). – С. 110 – 116. *Автору належить розробка системи водоохоронних заходів у Миколаївському районі.*

15. **Трохименко А. Г.** Анализ возможности применения фитотехнологий для очистки водной системы р. Ингулец от тяжелых металлов / А. Г. Трохименко, Н. В. Цыганюк // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2014. – № 6 – С. 128 – 133. *Автору належить оцінка ступеня забруднення р. Інгулець важкими металами, аналіз особливостей гідроекосистеми і вибір проекту фіторе mediaції води.*

16. **Трохименко Г. Г.** Результаты застосування препарату «Тамір» для доочищення стічних вод комунального підприємства (м. Скадовськ) / Г. Г. Трохименко // Вісник Одеської Державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – № 59. – С. 243 – 248. *Автору належить проведення та аналіз дослідження очищення стічних вод на комунальному підприємстві.*

17. **Трохименко Г. Г.** Підвищення екологічної безпеки регіону за рахунок фіторекультивуації шламових масивів МГЗ / Г. Г. Трохименко, Ц. Р. Ященко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – Івано-Франківськ, 2016. – № 2 (14) – С. 122 – 128. *Автору належить аналіз впливу діяльності підприємства на екосистеми, пошук шляхів переробки відходів підприємства та вибір рослин для фіторекультивуації.*

18. **Трохименко А. Г.** Влияние шламовых массивов на окружающую среду и оценка возможности их фитомелиорации / А. Г. Трохименко, Ц. Р. Ященко, Н. И. Магась // Науково-практичний журнал «Екологічні науки». – Київ: Вид-во Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, 2016. – № 12. – С. 103 – 109. *Автору належить оцінка впливу відходів виробництва на водне та атмосферне середовище.*

19. Гомеля М. Д. Вплив іонів жорсткості та взаємний вплив іонів важких металів на ефективність їх сорбції на катіоніті / М. Д. Гомеля, **Г. Г. Трохименко**, О. В. Глушко // Проблеми водопостачання, водовідведення

та гідравліки: науково-технічний збірник. – 2017. – Вип. 28. – С. 104 – 112. *Автору належить проведення експериментальних досліджень із застосування іонного обміну для очищення води від важких металів.*

20. Гомеля М. Д. Оцінка ефективності коагулянтів, синтезованих із відходів виробництв алюмінію, при очищенні води / М. Д. Гомеля, Т. В. Крисенко, **Г. Г. Трохименко** // Інтегровані технології та енергозбереження. - 2017. – № 4. – С. 80 – 84. *Автору належить синтез коагулянтів та оцінка їхньої ефективності.*

21. Гомеля М. Вплив іонів жорсткості на сорбцію важких металів на катіоніті / М. Гомеля, **Г. Трохименко**, О. Глушко // Технічні науки та технології. – 2018. – № 1 (11). – С. 214 – 223. *Автору належить експериментальні дослідження застосування катіонітів для пом'якшення води та створення умов для видалення важких металів методом іонного обміну.*

### **Патент на корисну модель**

22. Патент на корисну модель 122541 Україна МПК<sup>7</sup> C01F 7/52, C01F 7/56, C01F 7/60. Спосіб отримання коагулянту для освітлення та знебарвлення води / Гомеля М. Д., **Трохименко Г. Г.**, Шаблій Т. О. // № 2017 08485; Заявл. 18.08.2017; Опубл. 10.01.2018, Бюл. № 1. *Автору належить експериментальне підтвердження дії коагулянту.*

### **Статті у інших наукових виданнях**

23. **Трохименко Г. Г.** Підвищення рівня інфекційних захворювань у Миколаївській області внаслідок забруднення водного середовища / Г. Г. Трохименко // Рибне господарство України. – 2004. – № 7. – С. 218 – 220. *Автору належить дослідження стану водних ресурсів, аналіз ступеня їхнього забруднення та рівня інфекційних захворювань у районах забруднення, з'ясування причин напруженої екологічної ситуації у районі дослідження.*

24. **Трохименко Г. Г.** Дослідження впливу скидів зворотних стічних вод Криворізького металургійного комбінату на стан основних компонентів біоти річки Інгулець / Г. Г. Трохименко, Н. І. Магась, Н. О. Казначеева // Рибне господарство України. – 2007. – № 5. – С. 3 – 15. *Автору належить експериментальне дослідження якості води та стану компонентів гідроекосистеми.*

25. **Трохименко Г. Г.** Оцінка техногенного впливу і зміни мінералізації води на стан іхтіофауни річок Інгулець та Саксагань / Г. Г. Трохименко, Н. І. Магась // Рибне господарство України. – 2008. - № 4. – С. 31 – 35. *Автору належить дослідження стану водних ресурсів, аналіз ступеня їхнього забруднення та впливу на іхтіофауну.*

26. **Трохименко Г. Г.** Оцінка якості води основних приток річки Південний Буг у межах Миколаївської області / Г. Г. Трохименко, Н. І. Магась // Науковий вісник МДУ ім. В. О. Сухомлинського. Біологічні науки. – 2009. – Вип. 24, 4(1). – С. 209 – 213. *Автору належить результати експериментального дослідження забруднення, міграції та кумуляції важких*

*металів у гідробіонтах Бузького лиману та аналіз ступеня забруднення приток р. Південний Буг.*

27. Федюкіна Д. В. Оцінка забруднення нафтопродуктами басейну Південного Бугу та Бузького лиману в Миколаївській області / Д. В. Федюкіна, **Г. Г. Трохименко** // Екологічна безпека. – 2010. – № 1 – С. 23 – 27. *Автору належить оцінка рівня забруднення водних ресурсів області нафтопродуктами та ступеня їхньої небезпеки.*

28. Скворцова Д. В. Використання мікробіологічного препарату “Тамір” для очищення комунально-побутових стічних вод / Д. В. Скворцова, **Г. Г. Трохименко** // Вісник Дніпропетровського університету. Серія: біологія, екологія. – 2012. – Вип. 20, т. 1. – С. 92 – 99. *Автору належить проведення та аналіз дослідження очищення стічних вод на комунальному підприємстві.*

29. **Трохименко Г. Г.** Оцінка впливу розробки Сафонівського родовища урану методом свердловинного вилюговування на водні ресурси / Г. Г. Трохименко, А. В. Кубрак // Вісник Національного університету кораблебудування: електронне видання. – № 5. – 2010. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua/article/view/25070/22518>. *Автору належить дослідження впливу методу розробки родовища на водні ресурси та моніторингові дослідження стану водних ресурсів.*

30. Федюкіна Д. В. Аналіз чинників, які впливають на мікробіологічну біодеструкцію нафтових вуглеводнів / Д. В. Федюкіна, **Г. Г. Трохименко** / Вісник Національного університету кораблебудування: електронне видання. – 2010. – № 5. – Режим доступу: <http://evn.nuos.edu.ua/article/view/25096/22520>. *Автору належить методологія дослідження та аналіз ступеня мікробіологічної деструкції нафтових вуглеводнів.*

31. **Трохименко Г. Г.** Визначення ступеня кумуляції важких металів у гідробіонтах Бузького лиману / Г. Г. Трохименко, Н. В. Циганюк // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2015. – № 4. – С. 98 – 105. *Автору належить результати експериментального дослідження забруднення, міграції та кумуляції важких металів у гідробіонтах Бузького лиману та аналіз ступеня забруднення приток р. Південний Буг.*

32. Гомеля М. Д. Знезалізнення природних вод в присутності іонів жорсткості / М. Д. Гомеля, **Г. Г. Трохименко**, М. М. Твердохліб // Екологічна безпека та природокористування: збірник наукових праць. – 2015. – Вип. 20. – С. 57 – 62. *Автору належить методологія дослідження, частина експериментальних результатів та їхній аналіз.*

33. Сафранов Т. А. Збалансованість мінерального складу питних вод як чинник впливу на здоров'я населення міських агломерацій Північно-Західного Причорномор'я / Т. А. Сафранов, Н. В. Грабко, А. А. Поліщук, **Г. Г. Трохименко** // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2016. – № 20. – С. 5 – 18. *Автору належить дослідження та систематизація даних зі збалансованості вод м. Миколаєва.*

34. **Трохименко Г. Г.** Захист природних водойм від забруднення іонами міді / Г. Г. Трохименко, М. Д. Гомеля // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Хімічна

інженерія, екологія та ресурсозбереження»: збірник наук. праць. – 2016. – № 1(15). – С. 93 – 98. *Автору належить розробка методу очищення води від іонів міді.*

35. **Трохименко Г. Г.** Захист водойм від забруднення іонами міді при скиді промислових стічних вод / Г. Г. Трохименко, І. М. Трус, М. Д. Гомеля // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.- тех. збірник Київського національного університету будівництва і архітектури МОНУ. – 2016. – Вип. 26. – С. 138 – 147. *Автору належить розробка методу очищення води від іонів міді.*

36. Виверець А. О. Аналіз ефективності використання порошку насіння *Moringa oleifera* та шламу від виробництва глинозему як коагулянтів для очищення води / А. О. Виверець, **Г. Г. Трохименко**, М. Д. Гомеля // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук – тех. збірник Київського національного університету будівництва і архітектури МОНУ. – 2016. – Вип. 27. – С. 39 – 47. *Автору належить синтез коагулянтів та аналіз результатів їхнього застосування.*

37. **Трохименко Г. Г.** Оцінка рівня забруднення поверхневих вод р. Інгулець важкими металами / Г. Г. Трохименко, Н. В. Циганюк // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2016. – № 3. – С. 114 – 119. *Автору належить експериментальні дослідження та аналіз ступеня забруднення поверхневих вод р. Інгулець.*

38. Магась Н. І. Оцінка впливу берегових джерел скиду стічних вод на стан водного середовища / Н. І. Магась, **Г. Г. Трохименко** // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2017. – № 2 (469). – С. 98 – 106. *Автору належить аналіз результатів моніторингу водного середовища.*

39. Сухарева А. С. Електрохімічне розділення міді та цинку в процесі іонообмінного очищення води / А. С. Сухарева, **Г. Г. Трохименко**, М. Д. Гомеля // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2017. – № 3 (470). – С. 114 – 120. *Автору належить постановка задачі та методологія експерименту, аналіз отриманих даних.*

40. Гомеля Н. Д. Ионнообменная очистка воды от нитратов в присутствии хлоридов и сульфатов / Н. Д. Гомеля, В. Н. Грабитченко, **А. Г. Трохименко** // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2016. – № 1. – С. 57 – 65. *Автору належить застосування іонно-обмінного методу та аналіз ступеня очищення води від нітратів.*

41. Гомеля Н. Д. Электролитическое извлечение ионов тяжелых металлов из солянокислых растворов / Н. Д. Гомеля, Е. В. Глушко, **А. Г. Трохименко**, Л. И. Бутченко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2017. – № 1. – С. 60 – 67. *Автору належить розробка методу вилучення іонів металів за допомогою трьохкамерного електролізу.*

42. Гомеля М. Д. Дослідження вилучення фосфатів на аніонітах та створення безвідходної переробки регенераційних розчинів / М. Д. Гомеля, А. І. Петриченко, **Г. Г. Трохименко**, Я. П. Мартинюк // Вода і водоочисні

технології. Науково-технічні вісті. – 2017. – № 1 (21). – С. 12 – 23. *Автору належить вивчення ступеня вилучення фосфатів, сульфатів та хлоридів на аніоніті АВ–17–8 та ступеня регенерації аніоніту.*

### **Тези доповідей**

43. Чумаченко Г. К. Вивчення стану малих та середніх річок Миколаївської області на прикладі річки Мертвовод / Г. К. Чумаченко, **Г. Г. Трохименко** // Екологічна безпека держави: збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів, 27–28 квітня 2010 р. – Київ, 2010. – С. 230 – 232. *Автору належать система і результати моніторингу поверхневих вод річки, аналіз отриманих даних.*

44. Шумілова О. О. До питання очистки стічних вод та нормування їх скиду у водні об'єкти / О. О. Шумілова, **Г. Г. Трохименко** // Эколого-правовые и экономические аспекты экологической безопасности регионов: материалы IV научно-практической конференции при участии молодых ученых, 19-21 октября 2011 г., Харьков. – Харьков, 2011. – С. 79 – 82. *Автору належить модернізація системи нормування скидів у водні об'єкти.*

45. **Трохименко Г. Г.** Аналіз застосування ЕМ-препарату «Тамір» для мікробіологічного очищення стічних вод на КП «Прибузьке» м. Нова Одеса / Г. Г. Трохименко, А. Ю. Кучер / Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні: матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції, 27 - 29 травня 2011 р. - Миколаїв, 2011. – С. 260 – 262. *Автору належить впровадження ЕМ-технології для очищення стічних вод підприємства, а також попередні лабораторні дослідження.*

46. Шумілова О. О. Оцінка потенційного впливу стічних вод Галицинівських очисних споруд на стан гідробіонітів Бузького лиману / О. О. Шумілова, **Г. Г. Трохименко** // Карпатська конференція з проблем охорони довкілля: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 15-18 травня 2011 р. – Мукачєво-Ужгород, 2011. – С. 144-145. *Автору належить оцінка ступеня забруднення лиману, стану гідробіонітів у зоні впливу очисних споруд.*

47. Маєвська В. С. Аналіз можливості застосування циклічної технології активного мулу «С-ТЕСН» для очищення стічних вод в курортних зонах на прикладі ТК «Буковель» / В. С. Маєвська, **Г. Г. Трохименко** // Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні: матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції, 05–07 червня 2015 року. – Миколаїв, 2015. – С. 75 – 76. *Автору належить аналіз стічних вод туристичного комплексу та розрахунок можливості впровадження технології.*

48. **Trokhymenko G. G.** Electroplating wastewater treatment from copper ions / G. G. Trokhymenko, M. D. Gomelya // Pure water. Fundamental, applied and industrial aspects: Processing of the III Internacial Scientific and Technical Conference, 28–30 October 2015. – Kyiv, 2015. – Pp. 48-50. *Автору належить аналіз умов застосування методу очищення та результати його застосування.*

49. Vyverets A. The analysis of using *Moringa oleifera* seeds and sludge from alumina production efficiency as coagulants in water purification / A. Vyverets, **A. Trokhimenko**, M. Gomelya // Pure water. Fundamental, applied and industrial aspects: Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference, 26-28 October 2016. – Kyiv, 2016. – Pp. 50 – 52. *Автору належить розробка методу синтезу коагулянту та його застосування.*

50. Виверець А. О. Дослідження бактерицидних властивостей насіння *Moringa oleifera* / А. О. Виверець, **Г. Г. Трохименко** // Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем. Горбуновські читання: тези доповідей, 5–6 травня 2016 р. – Чернівці, 2016. – С. 53 – 54. *Автору належить проведення мікробіологічного аналізу.*

51. Сухарева А. С. Електрохімічне розділення міді, цинку та нікелю в процесі іонообмінного очищення води / А. С. Сухарева, **Г. Г. Трохименко** // Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти. «Чиста вода – 2017»: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, 26–27 жовтня 2017 року. – Київ, 2017. – С. 204 – 206. *Автору належить розробка методології експерименту та аналіз отриманих результатів.*

52. М. Д. Гомеля Рациональне використання водних ресурсів шляхом створення нових матеріалів та розробки нових технологій водопідготовки / М. Д. Гомеля, **Г. Г. Трохименко** // Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні: матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції, 22-24 вересня 2017 р. – Миколаїв, 2017. – С. 13 – 19. *Автору належить узагальнення отриманих раніше нових технологій водопідготовки.*

53. **Трохименко Г. Г.** Розробка нових технологій водопідготовки із застосуванням нових коагулянтів та інгібіторів накипоутворення / Г. Г. Трохименко // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції, 11–13 жовтня 2017 р. – Миколаїв: НУК, 2017. – С. 285 – 287. *Автору належить аналіз сучасних технологій водопідготовки та результати впровадження нових коагулянтів та інгібіторів накипоутворення.*

54. **Трохименко Г. Г.** Використання ЕМ–препаратів для доочищення стічних вод заводу «Сан Ін Бев Миколаїв» від нітратів на прикладі препарату «Тамір» / Г. Г. Трохименко, М. О. Бажина // Екогеофорум – 2017. Актуальні проблеми та інновації: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22–25 березня 2017 р. – Івано-Франківськ, 2017. – С. 13 – 14. *Автору належить виконання експериментальних досліджень, створення модельної установки*

55. Ахмедова В. Р. Аналіз методів доочищення стічних вод пивоварного підприємства «Сан Ін Бев Україна» від азотних сполук у лабораторних умовах / В. Р. Ахмедова, **Г. Г. Трохименко** // Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: матеріали V Міжнародної наукової конференції, 29-30 листопада 2017 р. – Харків, 2017. – С. 14 – 15. *Автору належить виконання експериментальних досліджень та аналіз отриманих даних.*

## АНОТАЦІЯ

**Трохименко Г. Г. Комплексні маловідходні технології захисту від забруднення гідроекосистем (на прикладі Миколаївської області).** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека (101 – Екологія). – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2018.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню екологічних проблем захисту водних об'єктів від забруднення на прикладі Миколаївської області шляхом моніторингу стану водойм, створення маловідходних технологій водопідготовки та очищення води, які забезпечують раціональне використання водних ресурсів.

Проведена оцінка стану гідроекологічних систем у межах водного басейну Миколаївської області.

Визначено ефективність коагулянтів, отриманих зі шламів Миколаївського глиноземного заводу, і природного коагулянту *Moringa oleifera* при освітленні, знебарвленні, знезараженні модельних розчинів та природних вод. Розроблено реагенти та методи стабілізаційної обробки води для забезпечення раціонального використання води в промисловості та енергетиці.

Визначені параметри процесів іонообмінного очищення води від іонів важких металів, процесів електроекстракції металів із кислих регенераційних розчинів при створенні безвідходних технологій очищення води від важких металів та від біогенних сполук.

Для інтенсифікації біологічних методів очищення комунально-побутових та промислових стічних вод від розчинних та нерозчинних органічних та неорганічних поллютантів визначено ефективність застосування технології ефективних мікроорганізмів з використанням біопрепарату «Тамір».

Запропоновано нові маловідходні технологічні схеми пом'якшення та знесолення води, очищення води від іонів важких металів, які застосовуються при організації замкнених систем водокористування у гальванічних виробництвах, очищення води від сполук азоту та фосфору, основані на використанні іонообмінних фільтрів.

**Ключові слова:** водоциркуляційні системи, електроліз, інгібітори корозії, іонний обмін, коагулянти, моніторинг стану гідроекосистем, регенераційні розчини, технологія із застосуванням ефективних мікроорганізмів.

## АННОТАЦИЯ

**Трохименко А. Г. Комплексные малоотходные технологии защиты от загрязнения гидроекосистем (на примере Николаевской области).** – Квалификационный научный труд на правах рукописи. Диссертация на

соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – Экологическая безопасность (101 – Экология). – Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2018.

Диссертационная работы посвящена решению экологических проблем защиты водных объектов от загрязнения на примере Николаевской области путем мониторинга состояния водоемов, создание малоотходных технологий водоподготовки и очистки воды, которые обеспечивают рациональное использование водных ресурсов.

Проведена оценка состояния гидроэкологических систем в пределах водного бассейна Николаевской области.

Определена эффективность коагулянтов, полученных из шлама Николаевского глиноземного завода, и природного коагулянта *Moringa oleifera* при осветлении, обесцвечивании, обеззараживании модельных растворов и природных вод. Разработаны реагенты и методы стабилизационной обработки воды для обеспечения рационального использования воды в промышленности и энергетике.

Определены параметры процессов ионообменной очистки воды от ионов тяжелых металлов, процессов электроэкстракции металлов с кислых регенерационных растворов при создании безотходных технологий очистки воды от тяжелых металлов и от биогенных соединений.

Для интенсификации биологических методов очистки коммунально-бытовых и промышленных сточных вод от растворимых и нерастворимых органических и неорганических загрязнителей определена эффективность применения технологии эффективных микроорганизмов с использованием биопрепарата «Тамир».

Предложены новые малоотходные технологические схемы смягчения и обессоливания воды, очистки воды от ионов тяжелых металлов, которые применяются при организации замкнутых систем водопользования в гальванических производствах, очистки воды от соединений азота и фосфора, основанные на использовании ионообменных фильтров.

**Ключевые слова:** циркуляционные системы, электролиз, ингибиторы коррозии, ионный обмен, коагулянты, мониторинг состояния гидроэкосистем, регенерационные растворы, технология с применением эффективных микроорганизмов.

## SUMMARY

Trokhymenko G. G. Complex low-waste technologies for the hydroecosystem protection against pollution (by the example of the Mykolaiv region). – Manuscript. – Dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences, Specialty 21.06.01 – Environmental Safety (101 – Ecology). – Admiral Makarov National University of



Shipbuilding. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, 2018.

The dissertation considers solution of the environmental problems in water body protection against pollution as illustrated by the Mykolaiv region. It includes monitoring of the state of the water body and development of low-waste water treatment and purification technologies ensuring the rational use of water resources.

It was presented the results of analysis of the indicators of hydroecosystem pollution based on the data provided by the monitoring services of the Mykolaiv region over the past 12 years. The alternative studies have shown a high level of chlorides, iron, and chemical oxygen demand in the Ingul River, Southern Bug River, and Bug Estuary, which attests to pollution both by undertreated wastewater and rainwater.

The conditions for obtaining coagulants from the slurry produced by the Mykolaiv Alumina Refinery and the natural coagulant *Moringa oleifera* were defined. The coagulants' efficiency in clarification, discoloration, and decontamination of model solutions and natural waters is determined. Hence, application of sodium aluminate, magnesite and other reagents is proved to enhance the efficiency of water softening and ensure its robust purification from sulfates. Besides, it is shown that the use of strongly and weakly acidic cation exchangers or their mixtures provides deep water softening, while anion exchangers in the alkaline and carbonate forms promote water softening and purification from sulphates and chlorides. Furthermore, the chapter presents brand new methods developed for the synthesis of sulphonate and sulphonate-phosphinate scale inhibitors and establishes their efficiency in stabilizing water treatment. It also proposes brand new low-waste technological schemes of water softening and desalting.

The research on the content and distribution of heavy metals in the Bug Estuary waters were rendered. First, it specifies the pattern of heavy metals distribution in the components of the estuary ecosystem, including the water environment, natural suspensions, bottom deposits, and hydrobionts. There are determined the coefficients of the heavy metals hazard (damage) to the Bug Estuary waters, coefficients of the elements' accumulation in the algae, bottom deposits, and hydrobionts. The correlation between the content of heavy metals and the content of phosphates in water is determined. It is established how eutrophication and pollution with heavy metals are associated with mass fish mortality in the Bug Estuary. The dissertation then proposes options of upgrading the mechanism for preventing the water body eutrophication and reducing the content of heavy metals in the aquatic ecosystem. The processes of ion-exchange extraction of heavy metals from water have been studied for the creation of water purification technologies at organization of zero-discharge water utilization systems in the electroplating industry. In particular, there is estimated the efficiency of cation exchangers in the removal of heavy metal ions from water within a wide range of their concentrations. It is determined how hardness ions affect the water purification efficiency. Notably, the ions of heavy metals and their mixtures are effectively desorbed from ion exchangers at the use of sulfuric acid, hydrochloric acid, and sodium chloride solutions. Next, the conditions for electrochemical reduction of heavy metals from acidic and saline

solutions are specified. The parameters of metal extraction from the solutions of metal mixtures are established, as are the conditions for metal separation through controlling the solution's acidity. There are developed the principal schemes of low-waste technologies for water purification from heavy metal ions, which are used at organization of zero-discharge water utilization systems in the electroplating industry.

The research on the performance of the effective microorganisms (EM) technology employing the biological product "Tamir" for the wastewater purification at a dairy processing plant is presented. Thus, the degree of the product's dilution that is most effective for industrial wastewater purification (both economically and ecologically) is identified. There has been conducted a series of wastewater treatment experiments for various public utility providers. As evidenced by the research results, "Tamir" improves the organoleptic characteristics of water quality (such as color, odor and transparency), as well as the chemical indicators: chemical and biochemical oxygen demand, (reduced) concentration of organic substances, fats, ammonia nitrogen, nitrates, phosphates, and suspended matter. Biotesting has justified the possibility of using the EM technologies as an active tool for biodegradation of petroleum products at the pollution of the water environment.

The processes of water purification from nitrates, phosphates and sulphates with the help of weakly and strongly basic anion exchangers in the saline and alkaline forms were examined. There have been developed principal technological schemes of low-waste technologies for water purification from nitrogen and phosphorus compounds, which are based on the use of ion-exchange filters.

**Key words:** water circulation systems, electrolysis, corrosion inhibitors, ion exchange, coagulants, hydroecosystem monitoring, regenerants, effective microorganisms technology.